

Р. А. Пашаян¹, Л. В. Арутюнян²

Геохимические исследования сейсмотектонических движений земной коры центральной Армении

(Представлено академиком Л. А. Агаловяном 1/VII 2020)

Ключевые слова: *геохимические методы, месторождения минеральных вод, сейсмотектоника, земная кора, деформация, сейсмичность.*

Введение. Геохимические исследования на территории Армении подтвердили связь вариаций химического состава подземных вод, а также растворенного в воде углекислого газа с сейсмическими событиями. Месторождения вод разных типов, расположенные в различных сейсмоактивных районах, обладают определенным набором компонентов – предвестников сейсмотектонических движений земной коры. Характер проявления геохимических аномалий связан с типом готовящегося сейсмического события. Наряду с широким комплексом методов, используемых в настоящее время для изучения предвестников сейсмотектонических движений (сейсмологические, гидрогеодинамические, деформационные и др.), на стадии краткосрочного и оперативного прогноза эффективны также геохимические методы. Эти методы могут оказаться достаточно информативными при решении задачи определения времени, места и силы предстоящего землетрясения.

В работе приводится метод прогноза, основанный на статистической оценке изменчивости величины параметра дисперсии в смежных временных интервалах. Исследования пространственного распределения эпицентров землетрясений, произошедших за период наблюдений, позволили дополнить изучение деформационно-напряженного состояния земной коры региона. Проведена корреляция между деформированными участками земной коры и химическими компонентами подземных вод, выявленная в результате активации сейсмичности.

Гидрогеологические особенности участка исследований. Район исследования расположен в центральной части Армении. В геологическом строении участвуют осадочные, вулканогенно-осадочные, магматические и метаморфические образования. Среди геологических образований пород

четвертичного возраста особое место занимают покровы и потоки лав. В тектоническом строении района исследований выделяются Ереванско-Ордубатский синклиниорий, Цахкуняцкий и Приараксинский антиклинории. Региональные тектонические нарушения представлены Гарнийским и Ереванским разломами [1]. Подземные воды относятся к межгорной Ара-ратской котловине, которая является областью накопления подземного стока и формирования грунтовых и напорных водоносных горизонтов и включает большие запасы минеральных вод, характеризующихся гидрокарбонатно-кальциевым составом и приуроченных к терригенно-карбонатным породам палеозоя [2]. В газовом составе преобладающим является углекислый газ (97-99%). По газовому составу минеральные воды Армении подразделяются на углекислые и смешанные. Основными компонентами углекислых минеральных вод являются гидрокарбонаты, хлор, сульфат, натрий, кальций, магний, железо. По химическому составу воды минеральных источников Суренаван, Веди, Арзни, Бжни относятся к гидрокарбонатным, гидрокарбонатно-хлоридным, натриевым и хлоридно-натриевым. Общая минерализация вод от 3.6 до 7.8 г/л [5].

Геохимические исследования. Исследования гидрогеохимического состава вод проводились по результатам мониторинговых наблюдений минеральных источников центральной части Армении (рис. 1). Данные результатов анализа и статистической обработки временных рядов ионного (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , Fe^{3+}), общ. мин., pH и газового (CO_2) состава вод [3] сопоставлялись с сейсмическими событиями региона.

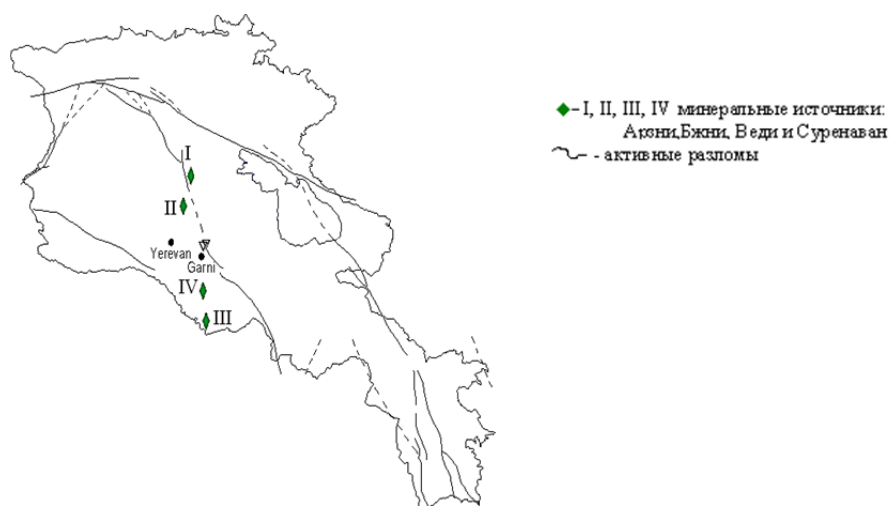


Рис. 1. Карта территории Армении с нанесением гидрогеохимических пунктов наблюдений.

Рассматривался региональный каталог землетрясений с энергетическим классом не менее 8.0. Общая сейсмическая энергия, выделившаяся в 2019 г., составила $1.25\text{E}+12$ дж. Более 2/3 всей выделившейся в 2019 г.

сейсмической энергии приходится на группированные сейсмические события, произошедшие на Джавахетском нагорье. Пространственное расположение эпицентров землетрясений и группированных сейсмических событий показано на карте (рис. 2).

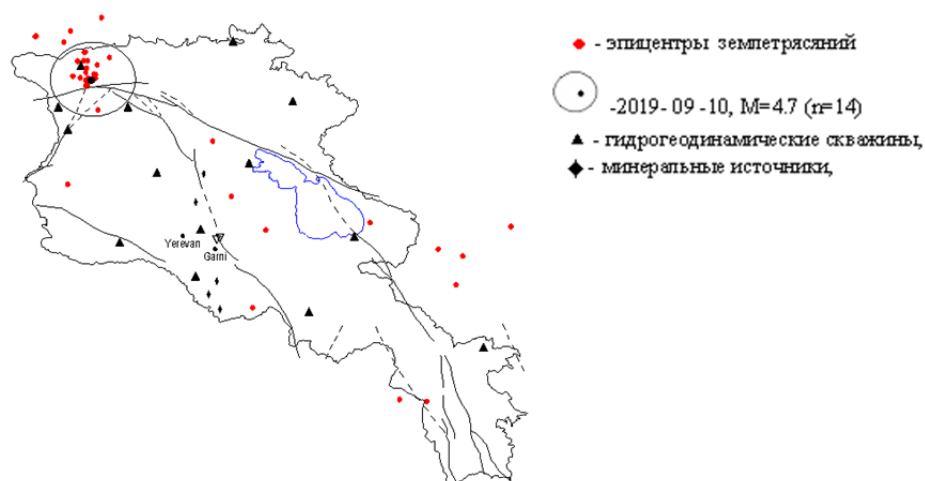


Рис. 2. Карта сейсмичности за 2019 г.; в круге группированные события, дата наиболее сильного события и количество землетрясений в группе.

Карта сейсмичности территории Армении отражает концентрацию сейсмических событий на центральном и северном участках региона и на юге бассейна оз. Севан. Сейсмический режим региона рассмотрен по стандартным показателям – сейсмической активности (а) и временным ходам угла наклона (b), рассчитанным при построении графика повторяемости землетрясений по годам, графики временного хода параметров а, b показаны на рис. 3. Численные значения параметров а, b за 2019 г. (0.7 и 2.9) оказались чуть ниже средних значений по региону.

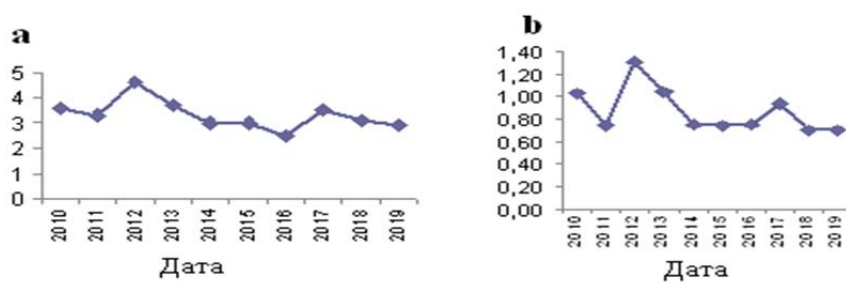


Рис. 3. Графики параметров активности (а) и временного хода (b).

Изменения значений параметра b во времени соответствуют этапам перестройки напряженно-деформированного состояния литосферы. Исходя из этого можно сделать вывод, что увеличение b указывает на изме-

нения геодинамики участка среды в сторону разгрузки. И наоборот, b приобретает пониженные значения при росте напряжений, т.е. по наблюдаемым значениям b можно судить об относительном количестве упругой энергии, сбрасываемой очагами [4]. Сейсмичность в целом (некоторое увеличение наблюдается после 2011 и 2016 гг.) на фоне общего растяжения не растет.

Как видно на карте сейсмичности территории Армении (рис. 2), в центральной части региона очаги произошедших землетрясений распределены вдоль Гарнийского глубинного разлома. Повышение сейсмоактивности вдоль разлома содействует геодинамической активности разлома, а также повышению напряженно-деформированного состояния земной коры региона. Карта поля напряженно-деформированного состояния (рис. 4) построена по значениям расчетных величин деформаций земной коры, образовавшихся на участках пунктов наблюдений (рис.1) от эпицентра произошедшего землетрясения [5].



Рис. 4. Карта напряженно-деформированного состояния земной коры Армении за 2019 г.

Карта на рис. 4 отражает деформацию сжатия на севере (Джавахетское нагорье) и востоке (юг оз. Севан) территории Армении, а в центральной части региона наблюдается деформация растяжения. Таким образом, сеймотектонические движения, вызванные землетрясением ($M=4.7$, 09.10.20) и серией афтошоков на Джавахетском нагорье и рядом сейсмических событий на ЮВ, примыкающих к Базум-Севанскому глубинному разлому, возможно, объясняют образование деформации сжатия на концах разлома. Сеймотектонические движения Гарнийского разлома отражают распределению геодинамических процессов вдоль разлома.

Геохимические методы прогноза землетрясений основаны на регистрации аномальных изменений химического состава и газа подземных вод в период, предшествующий землетрясениям. Задачей исследований было

выявление связи между динамикой поля углекислого газа и сейсмическими событиями в изучаемом районе. Статистический анализ фактического материала показал, что наиболее информативной характеристикой для получения критериев краткосрочного прогноза времени землетрясения служит 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 используются среднее значение дисперсии и скорость ее изменения. Обработка временных рядов изменения концентрации углекислого газа приведена по водам двух наблюдательных гидрогеохимических пунктов – Арзни и Веди. Временные ряды концентрации химических элементов минеральных вод состояются из данных ежемесячных наблюдений. Среднее значение содержания углекислого газа в водах составляет 1161 и 1957 мг/л. Сейсмические события, имевшие место на разном удалении от пункта наблюдений, представлены в таблице.

Дата	$\varphi, ^\circ\text{N}$	$\lambda, ^\circ\text{E}$	M	D, км « Арзни »	D, км « Веди »
18.06.2009	40.23	44.82	M=.1	28	50
14.10.2011	40.03	44.66	M.6	8	40
19.04.2015	40.01	44.49	M=2.3	26	34
07.21,2018	40.35	44.85	M=2	28	24

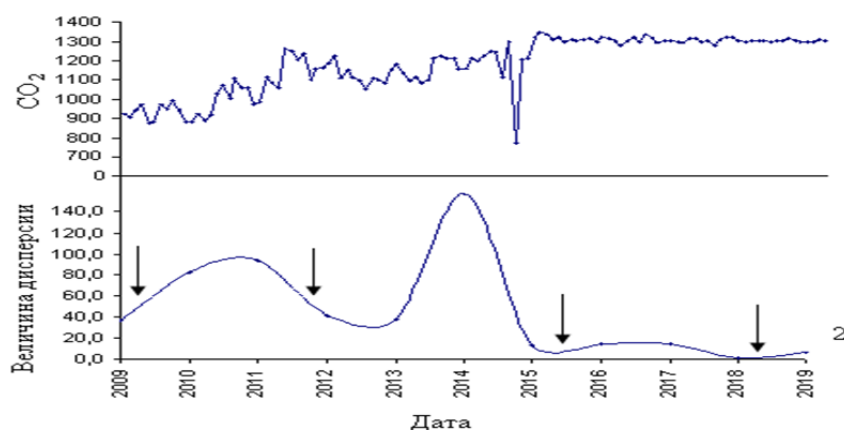


Рис. 5. Картина вариаций временного ряда углекислого газа по данным лабораторного анализа проб воды из минерального источника Арзни.

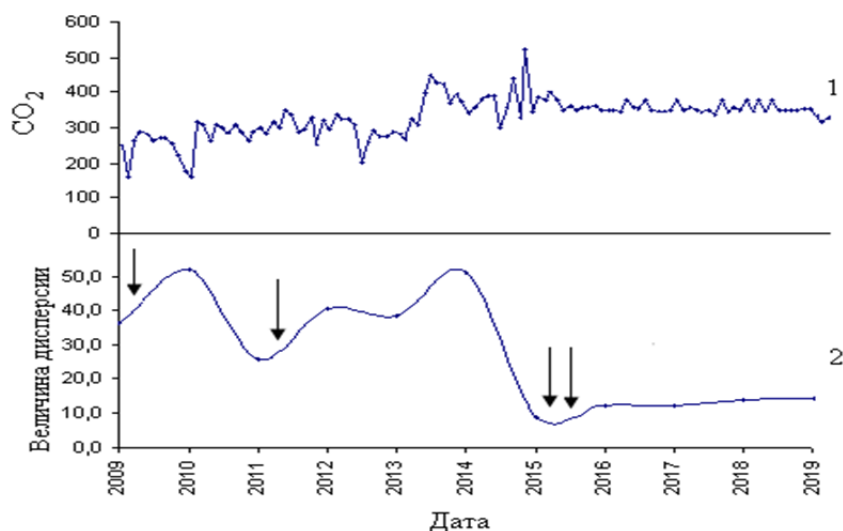


Рис. 6. График дисперсии CO_2 ; показана картина вариаций временного ряда по данным лабораторного анализа проб воды из минерального источника Веди.

На рис. 5 и 6 отражены периоды повышения и соответствующего снижения значений дисперсии, которые сопровождаются сейсмическими событиями. Вначале происходит повышение величины дисперсии, а потом ее снижение. Чаще всего сейсмические события соответствуют минимальным значениям дисперсии, что можно принять в качестве прогностного признака.

Выводы. Подземные воды центральной части территории Армении относятся к межгорной Арагатской котловине, включающей большие запасы минеральных вод, в которых преобладающим является углекислый газ, составляющий 97-99%. Составлена карта сейсмичности территории Армении, указывающая на концентрацию сейсмичности Джавахетского нагорья за 2019 г. Дана оценка сейсмическому режиму региона по параметрам графика повторяемости землетрясений за последние 9 лет. Составлена карта напряженно-деформированного состояния земной коры региона, отражающая деформацию сжатия на севере (Джавахетское нагорье) и деформацию растяжения в центральной части территории Армении.

Статистический анализ фактического материала по мониторингу гидрогеохимических наблюдений химического состава минеральных вод и сопоставление их с сейсмичностью показали, что наиболее информативной характеристикой для получения критериев краткосрочного прогноза времени возникновения землетрясения служит дисперсия содержания углекислого газа в воде на временном интервале.

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

² Институт общей и неорганической химии им. М. Манвеляна НАН РА

e-mail: romellapashayan@sci.am

Р. А. Пашаян, Л. В. Арутюнян

**Геохимические исследования сейсмотектонических
движений земной коры центральной Армении**

Изучены сейсмотектонические движения земной коры территории Армении по гидрогеохимическим и сейсмическим данным. Дана оценка напряженно-деформированного состояния земной коры региона. Применен метод, основанный на статистической оценке изменчивости дисперсии в смежных временных интервалах, в частности, по вариации величины дисперсии содержания углекислого газа в минеральной воде. Выявлен возможный прогностный признак сейсмического события.

Ռ. Ա. Փաշայան, Լ. Վ. Հարությունյան

**Կենտրոնական Հայաստանի երկրակեղևի սեյսմատեկտոնական
շարժումների երկրաքիմիական ուսումնասիրություններ**

Իրականացվել է Հայաստանի երկրակեղևի սեյսմատեկտոնական շարժումների ուսումնասիրություն՝ ըստ հիդրոերկրաքիմիական և սեյսմիկ տվյալների: Գնահատվել է տարածաշրջանի երկրակեղևի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը: Հետազոտության ընթացքում կիրառվել է կից ժամանակային ինտերվալներում դիսպերսիայի փոփոխականության վիճակագրական գնահատման մեթոդը: Մասնավորապես, ըստ հանքային ջրերում ածխաթթու գազի դիսպերսիայի մեծության վարիացիաների, հայտնաբերվել է հնարավոր սեյսմիկ իրադարձության կանխանշան:

R. A. Pashayan, L. V. Harutyunyan

**Geochemical Studies of Seismotectonic Movements
of the Earth's Crust of Central Armenia**

The study of seismotectonic movements of the earth's crust in the territory of Armenia according to hydrogeochemical and seismic data. An assessment of the stress-strain state of the earth's crust of the region is given. A method based on a statistical assessment of variability of variance in adjacent time intervals, in particular, by varying the variance of the carbon dioxide content in mineral water, is used to identify a possible predictive sign of a seismic event

Литература

1. Геология СССР. Т. 9. М. Недра. 1969. 380 с.
2. Гидрогеология СССР. Т. 11. Армянская ССР. М. Недра. 1968. 351 с.
3. *Пашаян Р. А.* – Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2008. Т. 61. № 3. С. 39-45.
4. *Салтыков В. А., Кравченко Н. М.* – Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1(2). С. 186-196.
5. *Пашаян Р. А., Саргсян А. З.* – Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2006. Т. 59. № 2. С. 30-36.
6. *Барсуков В. Л., Беляев А. А.* Геохимические методы прогноза землетрясений. М. Наука. 1992. 213 с.