

ГЕОЛОГИЯ

УДК 532.5

Р. А. Папаян, Л. С. Багумян

**Динамика изменения гидрогеохимических элементов на Араратском сейсмополигоне**

(Представлено академиком С.В.Григоряном 2/II 2011)

**Ключевые слова:** *геохимия, геодинамика, землетрясение, мониторинг*

В настоящее время большое значение придается динамике и геохимии подземных вод и их роли в развитии геотектонических процессов. Задачей гидрогеохимического мониторинга является выявление гидрогеохимических эффектов, преимущественно в изменениях макрокомпонентного и газового состава вод, сопутствующих геодинамическим движениям земной коры Араратского сейсмополигона. Впервые приводится корреляция макрокомпонентного и газового состава вод гидрогеохимического мониторинга с учетом тензочувствительности пунктов

Гидрогеохимический мониторинг проводился по водам минеральных источников [1], условно распределенных по трем профилям: на первом расположены минеральные источники Арзни, Бжни; на втором пресный родник Гоар и минеральный источник Гегард; третий включает минеральные источники Арарат, Веди и Суренаван.

Схема расположения профилей показана на рис.1, на котором Араратский сейсмополигон выделен в виде круга с радиусом в 50 км от г. Еревана. В первый профиль входят гидрокарбонатно-хлоридная, натриевая и хлоридно-натриевая воды с предполагаемой глубиной залегания водоносных горизонтов 290 и 480 м. Второй профиль включает один пресный родник и минеральный источник с гидрокарбонатной кальций-натриевой водой, водоносные горизонты на глубинах 210 и 280 м. В третий профиль входят Араратские воды, которые по химическому составу гидрокарбонатные, а глубины водоносных горизонтов 300, 390, 360 м. Глубина водоносных

горизонтов минеральных источников определялась по формуле  $H = (T - t)30$  [2]. Распределение некоторых гидрогеохимических элементов минеральных вод вдоль I, II, III профилей по результатам мониторинговых наблюдений показано на рис.2. Графики, приведенные на рисунке, отражают изменение значений геохимических элементов (Cl, SO<sub>4</sub>, Mg, HCO<sub>3</sub>) в мг-экв/л в составе минеральных вод во времени. Выборка данных элементов проводилась исходя из того, что вариации в значениях химических элементов наблюдались за время мониторинговых наблюдений.

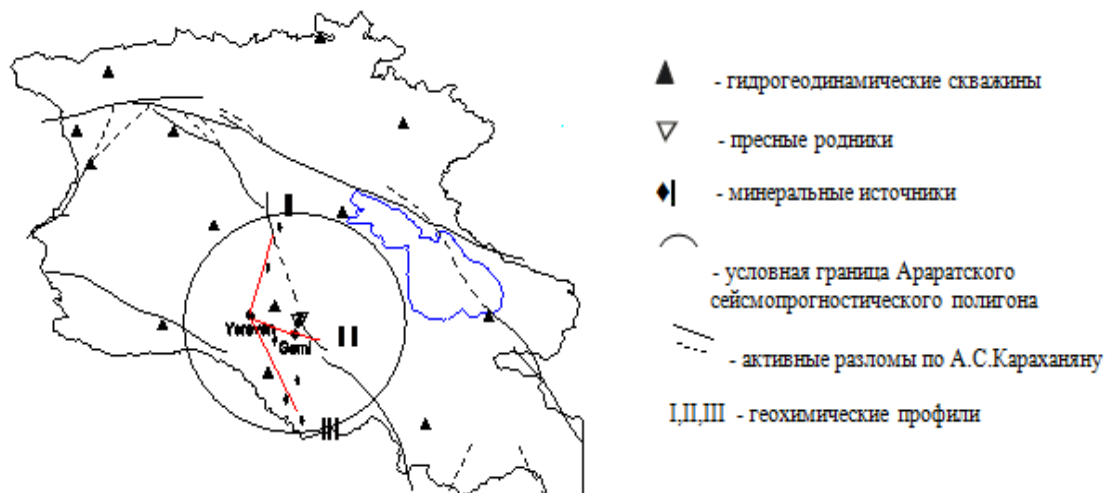


Рис.1. Схема расположения гидрогеохимических профилей на Араратском сейсмопрогностическом полигоне.

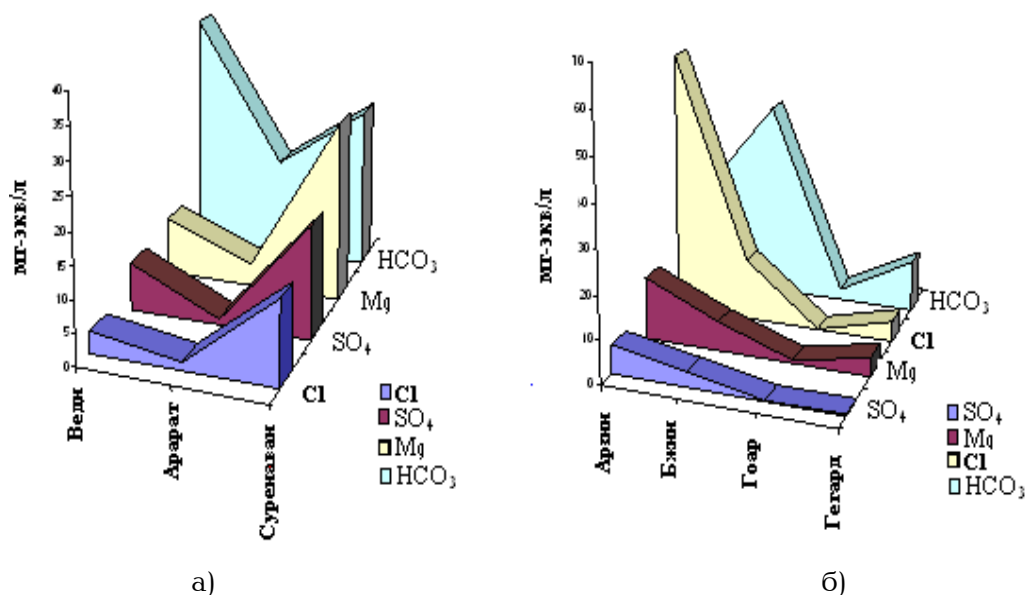


Рис.2. Изменение гидрогеохимических элементов (Cl, SO<sub>4</sub>, Mg, HCO<sub>3</sub>) вдоль профилей: а) профиль III – минеральные источники Веди, Арарат, Суренаван; б) профили I, II – минеральные источники Арзни, Бжни, Гюгард, пресный родник "Гюар".



Как видно из графика (рис.2,а), воды гидрогеохимического профиля III характеризуются повышенным значением  $\text{HCO}_3$ , резкий скачок значения Mg наблюдается в конце профиля III. Содержание Cl и  $\text{HCO}_3$  в водах профилей I и II (рис.2,б) повышено в начале профиля, а далее идет на спад, и небольшой подъем наблюдается в конце профиля. Полученные графики отражают изменение величин гидрогеохимических элементов вдоль профилей за период мониторинговых наблюдений.

Для анализа данных химического состава вод Араратского сейсмополигона была применена программа ArcGIS [3] с использованием пространственно-статистического метода анализа, в основе которого лежит пространственное усреднение, т.е. точкам, которые находятся близко к имеющим среднее значение точкам, придаются те же значения. Это дает возможность получить пространственный фон данного параметра. В частности, были применены методы интерполяции IDW (обратный вес расстояния), Кринга, Nearest neighbor, из которых наилучший результат дал метод IDW, основанный на том, что чем ближе в пространстве точки, тем точнее результаты анализа, и наоборот. Поскольку в нашем случае пункты наблюдений не разбросаны в пространстве, весь анализ параметров проводился по указанному методу.

Расчет интерполяции проводился по уравнению  $F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i$ , где  $n$  – число разбросанных точек (наблюдательных пунктов),  $f_i$  – значение функции в точках (т.е. данные измерений), а  $w_i$  – весовые функции для каждого элемента. Классическая форма этой функции выглядит следующим образом:

$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}}$ , где  $h_i$  – расстояние между заданной и интерполяционной точкой

или  $h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$ , где  $x, y$  – координаты интерполяционного поля, а  $x_i, y_i$  – координаты каждой заданной точки.

В результате анализа были получены карты распределения динамики концентрации химических элементов для каждого месяца вдоль мест расположения минеральных источников и пресного родника, а распределение химических элементов отмечено темными и светлыми (низкая и высокая концентрация) оттенками и изолиниями значений каждого параметра. На рис.3 приводятся карты изменения концентрации химического элемента Mg за 2009-2010 гг.

Исходя из сейсмического режима территории Армении установлено, что на Араратском сейсмопрогностическом полигоне за 2006 – 2010 гг. произошло 21 сейсмическое событие с  $2.0 > M < 4.5$ .

Как видно из рис.4, повышенная сейсмичность на Араратском сейсмополигоне наблюдалась в 2008 г. Пространственно-временное распределение

гипоцентров землетрясений показало, что наибольшее количество землетрясений за 2007-2010 гг. произошло на глубине  $H = 5 - 20$  км, а за 2008 г. — на глубине от 10 до 20 км.

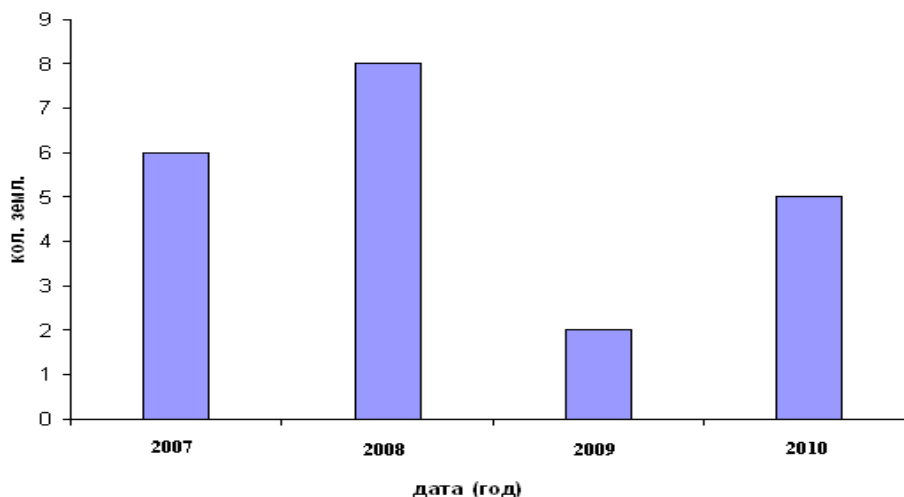


Рис.4. График распределения количества землетрясений по годам.

Землетрясение 18.06.09 г. с максимальной магнитудой  $M = 4.1$  имело место недалеко от с.Гарни, очаг находился на Гарнийском разломе на расстоянии 20 км от Гарнийской геофизической обсерватории [4]. Оно сильно повлияло на геохимию пресных вод Гарни и минеральных источников Араратского сейсмополигона. За неделю до сейсмического события общая минерализация воды источника "Гегард" снизилась с 1308 до 722 мг/л, а в составе воды пресного родника "Гоар" значение кремневой кислоты ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ) понизилось на 25 мг/л (85мг/л-60мг/л).

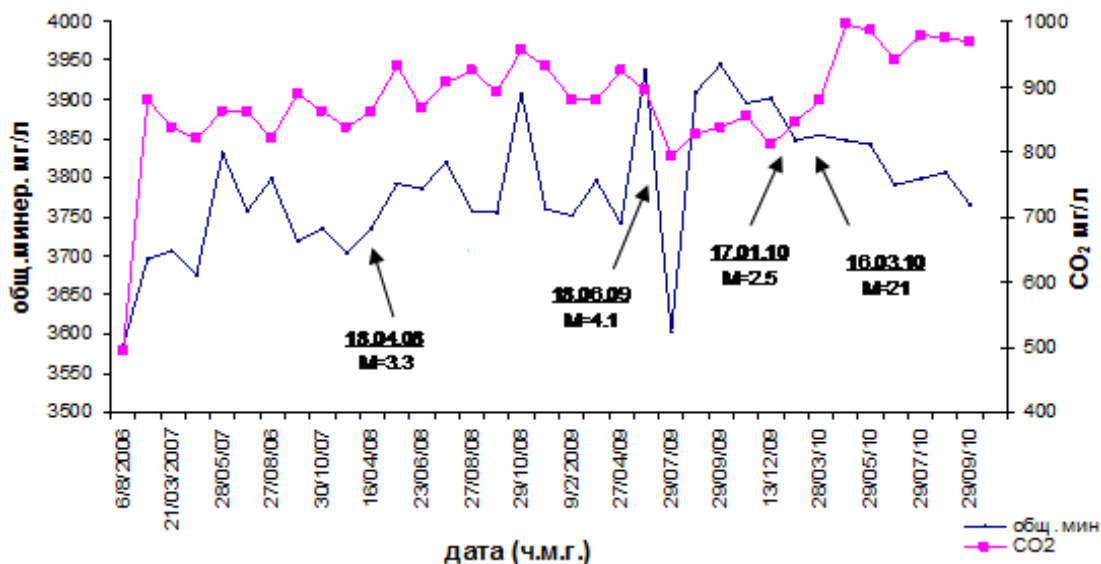


Рис.5. График изменения общей минерализации и растворенного в воде газа  $\text{CO}_2$  в источнике Веди.

Результаты наблюдений показали, что при местных землетрясениях с  $M > 2.5$  и выше наблюдаются гидрогеохимические эффекты, проявляющиеся в изменении величин общей минерализации и  $\text{CO}_2$ , а также уменьшении или увеличении среднего значения концентраций макрокомпонентного состава (рис.5). Причем в отличие от макрокомпонентного состава резко изменяется концентрация углекислого газа. Следует отметить, что несмотря на то, что на территории Армении за весь период произошло 21 землетрясение, мы рассматривали только те, очаги которых находились в непосредственной близости от источников минеральных вод.

### Сопоставление характеристик землетрясений с параметрами гидрогеохимических эффектов

| Минеральный источник | Дата землетрясения | Параметры     |      | Гидрогеохим. эффекты |      |
|----------------------|--------------------|---------------|------|----------------------|------|
|                      |                    | $\Delta$ , км | K    | $\tau$               | T    |
| Суренаван            | 11.06.08           | 25            | 9.0  | 6.0                  | 9.0* |
|                      | 18.06.09           | 54            | 11.4 | 3.0                  | 6.0* |
| Арзни                | 18.04.08           | 20            | 9.9  | 6.0                  | 8.0  |
|                      | 04.11.08           | 37            | 9.7  | 2.0                  | 5.0  |
|                      | 18.06.09           | 20            | 11.4 | 4.0                  | 7.0  |
| Бжни                 | 03.10.08           | 12            | 8.3  | 3.0                  | 5.0  |
| Веди                 | 4.11.08            | 54            | 9.8  | 3.0                  | 6.0  |
| Арарат               | 11.06.08           | 21            | 9.9  | 3.0                  | 4.0  |
| Гегард               | 18.06.09           | 20            | 11.4 | 18                   | 24   |

Примечание:  $\Delta$  – эпицентральное расстояние,  $K$  – энергетический класс,  $\tau$  – время экстремума,  $T$  – время эффекта, сутки, \* – месяцы.

Гидрогеохимические эффекты относительно их длительности во времени можно объединить в медленные и быстрые изменения концентрации растворенного вещества и газа [7]. Результаты корреляционного анализа показали, что существует статистически значимая связь между параметрами эффектов (время эффекта, время экстремума) и характеристиками сейсмических событий (энергетический класс, эпицентральное расстояние) [5]. Полученные данные приводятся в таблице, из которой следует, что продолжительность эффекта и время экстремума быстрых гидрогеохимических эффектов зависят от характеристик сейсмических событий, а следовательно, отражают процессы, развивающиеся на стадии подготовки землетрясения. Механизм образования гидрогеохимических эффектов, в отличие от гидрогеодинамических, предполагает некоторые условия, связанные с неоднородностью массива пород; в данном случае под неоднородностью понимается не столько

литологическая неоднородность пород, слагающих разрез массива. сколько неоднородность их фильтрационных и емкостных свойств, а также наличие в разрезе контрастных по химическому и газовому составу подземных вод [6]. Механизм формирования медленных и быстрых изменений концентраций растворенного вещества и газа объясняется, в общем случае, изменением напряженно-деформированного состояния среды при подготовке сильных землетрясений и тензочувствительности системы. Но также было выявлено, что тензочувствительность наблюдательной системы непостоянна и может меняться со временем. Возможно, ее изменение во времени проявляется в чередовании эффектов двух групп. Из чего следует, что форма кривой эффекта будет зависеть не только от величины приращения воздействующих на систему напряжений, но и от уровня тензочувствительности системы.

**Выводы.** Получена возможность визуализации данных по изменению концентрации химических макрокомпонентов, что позволяет фиксировать аномальные изменения в составе вод на Араратском сейсмополигоне. Механизм формирования гидрогеохимических эффектов с учетом параметров произошедших на сейсмополигоне землетрясений объясняется изменением напряженно-деформированного состояния среды при динамических процессах и уровня тензочувствительности системы.

Институт геологических наук НАН РА

**Р. А. Пашаян, Л. С. Багумян**

#### **Динамика изменения гидрогеохимических элементов на Араратском сейсмополигоне**

В работе сделан анализ данных гидрогеохимического мониторинга по водам минеральных источников с учетом сейсмического режима региона Армении. Дана краткая характеристика гидрогеологии района расположения пунктов наблюдений. Получены графики распределения химических элементов  $Cl$ ,  $HCO_3$ ,  $SO_4$ ,  $Mg$  вдоль гидрогеохимических профилей. Проведен анализ предвестниковых эффектов, дана оценка времени экстремума ( $\tau$ ) и продолжительности эффекта ( $T$ ) от параметров землетрясения. Рассмотрен возможный механизм формирования гидрогеохимических эффектов.

**Ռ. Ա. Փաշայան, Լ. Ս. Բաղումյան**

**Հիդրոերկրաքիմիական էլեմենտների փոփոխության դինամիկան Արարատյան սեյսմափորձադաշտում**

Վերլուծության են ենթարկվել հանքային աղբյուրների հիդրոգեոքիմիական ուսումնասիրությունների արդյունքում ստացված տվյալները՝ հաշվի առնելով Արարատյան սեյսմափորձադաշտի սեյսմիկ ռեժիմը: Տրվել է հիդրոգեոքիմիական պրոֆիլների (I, II, III) երկրաբանական և հիդրոերկրաբանական համառոտ բնութագիրը: Ստացվել են ուսումնասիրված պրոֆիլների մակերեսին քիմիական էլեմենտների բաշխման գրաֆիկները՝  $CL.HCO_3.SO_4.Mg$ : Ելնելով երկրաշարժի պարամետրերից ( $\Delta, K$ ), կատարվել է էֆեկտների տիպավորում. տրվել է էքստրեմումի ( $\tau$ ) ժամանակահատվածի և էֆեկտի ( $T$ ) շարունակության գնահատականը: Դիտարկվել է հիդրոգեոքիմիական էֆեկտների ձևավորման մեխանիզմը:

**R. A. Pashayan, L. S. Bagumyan**

**The Dynamics of Changes of Hydrogeochemical Elements on the Ararat Seismic Polygone**

The analysis of data of hydrogeochemical monitoring of the mineral spring water is done taking into account the seismic mode of Ararat Seismic Polygone. Brief characteristics of geology and hydrogeology of the arrangement area of hydrogeochemical profiles (I, II, III) is also given. The graphs of the distribution of the following chemical elements – CL,  $HCO_3$ ,  $SO_4$ , Mg on the area along observed geochemical profiles are received. Taking into account the earthquake parameters the types of effects ( $\Delta, K$ ) were determined, the extremum period ( $\tau$ ) and effect continuity was estimated. The mechanism of formation of hydrogeochemical effects is considered.

**Литература**

1. *Փաշայան Ր.Ա., Բաղումյան Լ.Ս., Միրզախանյան Ր. Թ., Անանյան Ա.Լ.* - Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2005. Т. 58. №3. С. 25-29.
2. *Անանյան Ա.Լ., Փաշայան Ր.Ա.* В: Сб. научных трудов конференции, посвященной 90-летию со дня рождения основателя ИГИС НАН РА академика А.Г. Назарова (1-4 июня 1998 г., г. Гюмри). Гюмри. 1998. С.197-202.
3. *Масюков А.В.* - Вестник ТвГУ. Прикладная математика. 2007. 1[4]. С. 99-112.
4. *Օգանեսյան Ս.Մ., Գեոդակյան Ջ.Գ., Կարապետյան Դ.Կ., Գրիգորյան Վ.Ր., Մկրտչյան Գ.Ա., Մկրտչյան Մ.Ա.* - Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2009. Т. 62. №3. С. 15-22.
5. *Зубков С.И.* - Изв. АН СССР, Физика Земли. 1987. №5. С. 87-96.
6. *Киссин И.Г., Стклянин Ю.И.* - О формировании гидрогеохимических предвестников землетрясений. М. Наука. 1985. 286 с.
7. *Киссин И.Г.* - Изв. РАН. Физика Земли. 1993. №8. С. 58-69.