

Статистический непараметрический анализ гидрогеохимических данных Араратской станции НССЗ Армении

А. В. Нерсисян¹, Е. А. Арутюнян²

¹Национальная служба сейсмической защиты Республики Армения

²Институт проблем информатики и автоматизации НАН РА и ЕРГУ

Аннотация

Алгоритм, основанный на непараметрических методах статистики, применен к данным Араратской станции сети гидрогеохимических наблюдений Национальной службы сейсмической защиты Армении. Результаты сравниваются с ранее полученными по станции Каджаран.

I. Введение

Изучению природы сильных землетрясений в нашей стране уделяется серьезное внимание. В созданной в 1991 г. Национальной службе сейсмической защиты (НССЗ) Республики Армения ведутся регулярные наблюдения за рядом геофизических, биологических, геохимических и др. природных параметров, отражающих процессы в земной коре. Наша цель анализ данных по геохимическому составу скважинных вод. Известна связь между изменением содержания микро и макрокомпонент в подземных водах и процессом подготовки сильных сейсмических событий [1-4]. Имеется пример прогноза времени землетрясения (ноябрь 1978 г., Арайское землетрясение) по геохимическим данным при использовании также некоторых геофизических предвестников [2]. Число наблюдаемых до- и пост-сейсмических аномалий физико-химических параметров вод продолжает расти [5]. Это обосновывает необходимость и важность разработки методов анализа гидрогеохимических данных, в частности создания компьютерных средств мониторинга и статистического анализа.

В НССЗ ведется регулярный сбор данных по содержанию химических компонент подземных вод. На трех наблюдательных пунктах территории Армении - Каджаран, Арарат и Суренаван, данные имеются с 1980 г. С 1993 г. сеть была расширена, в неё вошли еще три скважины - Ахурик, Карчахпюр и Цовагюх. Пробы воды анализируются на содержание следующих компонент: Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , He , pH и некоторых других. Пробы берутся один раз в сутки. Все скважины самоизливающиеся. Это связано со стабильным режимом вод самоизливающихся источников. Подробные сведения о наблюдениях на станциях Арарат, Суренаван и Каджаран (дебит, температура, величина общей минерализации, тип вод по составу и т. д.) приведены в первой главе (написанной В. А. Игумновым) книги [3].

Имеющиеся в НССЗ временные ряды гелия (He) по станциям Арарат и Каджаран представлены на рис.1.

Статистический анализ данных по станции Каджаран был представлен в статье [8]. Ниже будут приведены результаты анализа по станции Арарат в период перед сильным землетрясением 13.05.86 г.

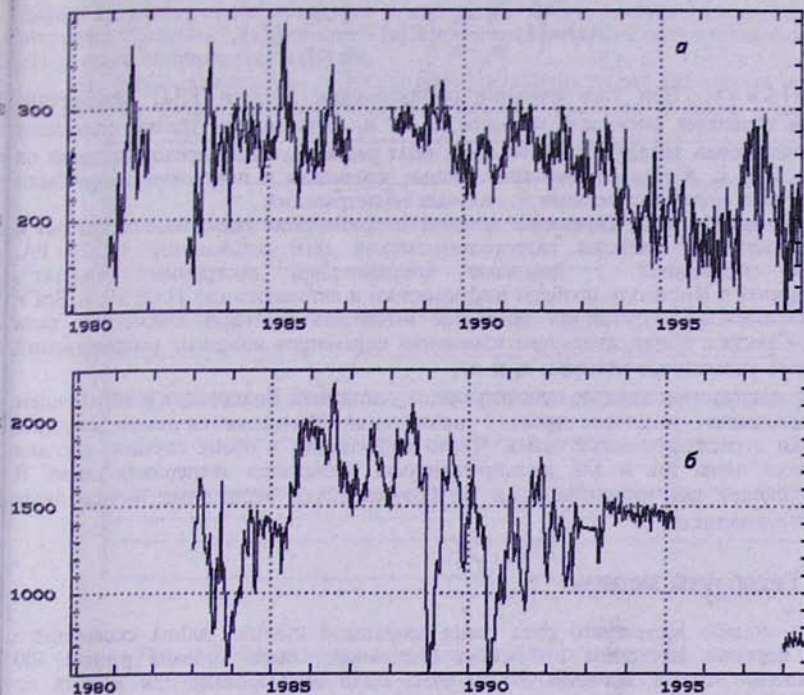


Рис. 1 Временные ряды гелия по станциям
Арарат (а) и Каджаран (б)

II. Об анализе гидрогеохимических временных рядов

Наблюдения за гидрогеохимическими предвестниками были начаты в 60-ые годы. Имеющиеся по 80-ые годы результаты обобщены в [6]. В 80-90-ых годах в журнале "Геохимия" был опубликован ряд статей, также посвященных геохимическим методам прогноза землетрясений. Основные идеи, изложенные в этих статьях, были впоследствии использованы в книге [3]. В этой работе описан алгоритм выделения сигнала, основанный на модели возникновения геохимических прогнозных сигналов, предложенной А. А. Беляевым. Этот алгоритм, однако, не имеет достаточно строгого математического обоснования.

В статье [8] был предложен оригинальный алгоритм обнаружения предвестниковых аномалий в гидрогеохимических временных рядах, основанный на непараметрических методах статистики. Он позволяет находить момент изменения свойств функции распределения случайной величины. Обоснование предложенного метода дано в [9].

Рассматривается следующая статистическая модель: во временном ряду наблюдений $\{X_1, X_2, \dots\}$ наблюдаемые величины X_n имеют функцию распределения $F_1(x)$ при $n < n_1$, функцию распределения $F_2(x)$, при $n > n_1$ и функцию распределения

$$G(x) = \left(1 - \frac{n-n_1}{n_2-n_1}\right) F_1(x) + \frac{n-n_1}{n_2-n_1} F_2(x),$$

при $n_1 + 1 \leq n \leq n_2$. При этом функции распределения $F_1(x)$ и $F_2(x)$ неизвестны. Алгоритм позволяет оценивать моменты n_1 и n_2 . Эта модель удачно описывает период подготовки землетрясения во временных рядах подобных представленным на рис. 2 и 3, т. к. в ряде случаев аналогичные изменения в поведении рядов были обнаружены за несколько месяцев до сильных землетрясений.

В настоящей статье излагаются результаты применения указанного алгоритма к данным араратской станции гидрогеохимической сети наблюдений НССЗ РА. Обработка проводится с помощью компьютерной программы "Геостат", разработанной в Институте проблем информатики и автоматизации НАН РА и ЕРГУ П. А. Петросяном. Программа позволяет вычислять ранговые статистики типа Чернова-Сэвиджа, обнаруживающие изменения параметров исходных распределений и оценивать упомянутые моменты n_1 и n_2 .

Для исследуемых данных просчитывается статистика Вилкоксона в скользящем окне, содержащем некоторое число l наблюдений. Вычисляются также значения статистики в расширяющихся окнах. Число наблюдений в обоих случаях, как для скользящего окна, так и для расширяющегося, выбирается экспериментально. В качестве оценок для моментов n_1 и n_2 берутся точки экстремума вычисленных значений статистики.

III. Результаты анализа

При анализе временного ряда гелия араратской станции длина скользящего окна, в котором вычислена статистика Вилкоксона, была выбрана равной 300 наблюдениям. Это же значение длины окна было использовано для данных по скважине Каджаран. На рис. 2 (а) представлен отрезок ряда гелия за ~520 дней до землетрясения 13.05.86 г., магнитуда M которого равна 13.7. Для анализа временной ряд гелия профильтрован с учетом сезонности, так как для данных по станции Арарат характерно наличие годового цикла [4]. Для фильтрации был использован компьютерный статистический пакет "Мезозавр", который позволяет построить одну из наиболее простых моделей учета сезонности - модель сезонных эффектов. В аддитивной форме этой модели (которая и была использована) ряд представляется в виде

$$J(t) = T(t) + S(t) + \text{err},$$

где $T(t)$ - тренд, $S(t)$ - сезонная составляющая, err - ошибка.

Значения статистики Вилкоксона, вычисленные в окне, начало которого приходится на 19.06.85 г., т. е. приблизительно за 11 месяцев до события, позволяют оценить моменты изменения свойств функции распределения последовательности значений гелия n_1 и n_2 (рис.2(б)). Оценки n_1 (11.11.85 г.) и n_2 (29.12.85 г.) получены также при вычислении статистики Вилкоксона в скользящем окне длиной 100 наблюдений, начало которых приходится на 27.09.85 г. и 16.11.86 г., соответственно, (рис.2 (г) и (д)). Как видно из приведенных кривых, оценками являются, как и при изучении данных по скважине Каджаран, точки минимума вычисляемой статистики.

Период накопления изменений, т. е. временной интервал от n_1 до n_2 , можно назвать "разладкой", за которой следует "затишье", т. е. отрезок времени в течение которого функция распределения исследуемой случайной переменной остается неизменной (и равной $F_2(x)$). "Затишье" для данной станции перед рассматриваемым землетрясением наступило приблизительно за 4,5 месяца. О периоде "затишья" почти

такой же длительности говорится в работе [4]. Время наступления и длительность периодов "затишья" и "разладки" несколько отличаются от результатов, полученных по данным каджаранской станции.

На рис. 2 (в) показаны значения статистики Вилкоксона для отрезка времени до момента n_1 , где функция распределения также не изменяется (и равна $F_1(x)$).

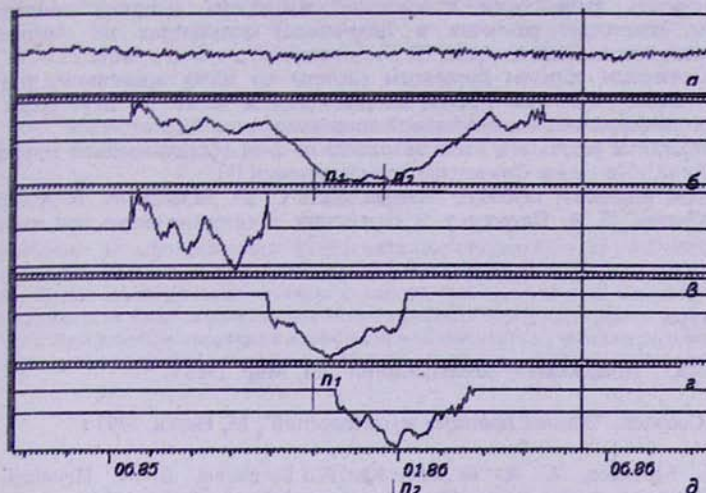


Рис. 2 Временной ряд гелия (прифильтрованный) скважины Арарат (а) и значения статистики Вилкоксона, просчитанные в скользящих окнах в период землетрясения 13.05.86 г., $M=13,7$

Некоторые различия в полученных результатах для одного и того же события, видимо, можно объяснить разными геолого-тектоническими и географическими условиями рассматриваемых скважин (рис. 3).

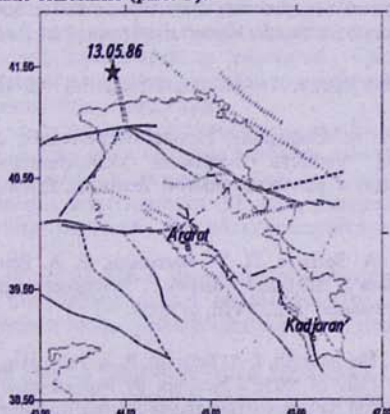


Рис. 3 Наблюдательные скважины Арарат и Каджаран и землетрясение 13.05.86 г. с магнитудой $M=13,7$

IV. Заключение

Описанный в [8] алгоритм применен для данных станции Арарат в период перед землетрясением 13.05.86 г. Получены оценки начала и конца периода накопления изменений временного ряда перед сильным сейсмическим событием. Эти изменения можно считать вызванными процессами подготовки мощного землетрясения. Отмечены некоторые различия в полученных результатах по Араратской и Каджаранской станциям.

Аналогичным образом проведены расчеты по всему временному ряду гелия станции Арарат, представленному на рис. 1.а., а также по некоторым другим компонентам подземных вод араратской станции.

Изложенные результаты были доложены на 2-ой Международной конференции, посвященной 10-и летию Спитакского землетрясения [9].

Авторы выражают глубокую благодарность С. Ю. Баласаняну, В. А. Игумнову, И. А. Сафарян, П. А. Петросяну за содействие и сотрудничество при выполнении этой работы.

Литература

1. К. Моги, "Предсказание землетрясений", М, Мир, 1988 г.
2. Г. А. Соболев, "Основы прогноза землетрясений", М, Наука, 1993 г.
3. В. Л. Барсуков, А. А. Беляев, Ю. А. Бакалдин, В. А. Игумнов и др., "Геохимические метода прогноза землетрясений", М, Наука, 1992 г.
4. V. A. Igoumnov, A. A. Kazarian, Geochemical precursors to earthquakes and relaxation of geochemical parameters. Proceeding of Scientific meeting on the seismic protection. Venice., July 1993, p. 148-151.
5. H. Woith, C. Milkereit, R. Wong, J. Zschau, V. Igumnov, A. Avanesian S. Balassanian, "Post-seismic Conductivity anomallies monitored at an Artesian well in Southern Armenia" Abstracts of II International Conference on Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, Yerevan, 1998, p. 186.
6. "Гидрогеохимические предвестники землетрясений" М, Наука, 1985 г.
7. Е. А. Арутюнян, И. А. Сафарян, "Непараметрическое состоятельное оценивание момента изменения свойств случайной последовательности", Математические вопросы кибернетики и вычислительной техники, Ереван, 1997 г., XVII, стр. 76-85.
8. E. A. Haroutunian, I. A. Safarian, H. V. Nersessian, P. A. Petrossian, "Erthquake Precurcors Identification on the Base of Statistical Analysis of Hydrogeocemical Time Serries", Mathiematical Problems of Computer Science, 1997, XVIII, p. 33-39.
9. H. V. Nersessian, E. A. Haroutunian, I. A. Safarian, P. A. Petrossian, "The Comparative Analysis of the Hydrogeochemical Data of NSSP's Network by Non-parametrical methods", Abstracts of II International Conference on Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, Yerevan, 1998, p. 208.