

УДК 550.348.098.64

DOI: 10.23671/VNC.2015.3.55278

## О ДИСПЕРСИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧЕСКИМИ СОБЫТИЯМИ НА ВОСТОЧНОМ КАВКАЗЕ

© 2015 О.А. Саидов, к.г.-м.н.

Дагестанский филиал ФГБУН РАН, 367008 Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Белинского, 16, e-mail: omarsaidov1@yandex.ru

Показано, что в периоды, предшествующие и сопутствующие землетрясениям, величина дисперсии в смежных интервалах временных геохимических рядов изменяется закономерно. В периоды повышения сейсмической активности в зависимости от силы готовящегося землетрясения образуется четкое поле повышенных значений дисперсии.

**Ключевые слова:** водород, гелий, метан, вариации, дисперсия, землетрясение.

### Введение

Вопросы изучения газового режима Земли, в частности, вариаций природных газов во времени являются частью общей проблемы дегазации Земли, которая имеет большое научное и практическое значение для геологической науки в целом. В то же время, этот вопрос приобретает и другое весомое значение в связи с изучением геохимических критериев оценки сейсмической активности.

Как известно, Восточный Кавказ и, в частности, Республика Дагестан является одним из регионов Юга России, где отмечается повышенная сейсмическая активность. Как в прошлое, так и в настоящее время здесь отмечаются крупные землетрясения, а в соответствии с картой ВОЗ, возможно возникновение землетрясений с магнитудой  $M=6$  и более с интенсивностью в эпицентре 8–9 баллов. В дополнение к существующей естественной сейсмической активности отмечается и техногенная сейсмичность, связанная со строительством и эксплуатацией крупных гидротехнических сооружений с большими объемами водохранилищ на реке Сулак (Чиркейская, Ирганайская ГЭС и др.).

В связи с этим, проведение мониторинга параметров природных газов подземных водно-газовых систем с целью выявления статистически надежных предвестников землетрясений не потеряло свою актуальность. С другой стороны эти исследования углубляют наши представления о природе физических и физико-химических процессов в очаге землетрясения.

### Современные представления об очаге землетрясения

Традиционная модель очага землетрясения описывается моделью сплошной линейно-упругой среды. При этом очаг землетрясения сводится к тому, что разрушение массива горных пород происходит из-за образования трещин. Для изучения геодинамических процессов эта модель оказалась неэффективной в связи с тем, что она не учитывала основное свойство горной породы – дискретность.

Согласно модели Садовского М.А. [Садовский, Писаренко, 1991], сейсмическая энергия заключена в некотором объеме горной породы, в одном из блоков иерархической структуры, теряющем устойчивость при энергообмене с окружающей средой. Как открытая термодинамическая система такой блок постоянно питается энергией из окружающего пространства, тем самым поддерживает свою внутреннюю упорядоченность, структурные связи, локально уменьшая энтропию, способствуя при этом увеличению энтропии окружающего пространства. Такие структуры в неравновесной термодинамике известны, как диссипативные структуры (структуры далекие от равновесия), и возникают в разных средах (в океанах, атмосфере, биосфере и др.). Они динамичны, меняют свое состояние во времени, тем не менее, могут существовать долго, пока существуют энергетические потоки, которые поддерживают их структуру. При прекращении питающих их энергетических потоков, или при изменении внешних по отношению к структуре термодинамических параметров (температура, давление и др. параметры) они теряют устойчивость и разрушаются с выделением соответствующей энергии, т. е. чувствительны к внешним воздействиям, и в то же время вновь могут восстанавливаться при возобновлении энергетических потоков (повторяемость землетрясений).

Таким образом, возникновение или зарождение диссипативной структуры ее эволюция и последующее разрушение, (по-видимому, дискретное, что и подтверждают афтершоки), по всей вероятности, определяет механизм очага землетрясения и соответственно гидродинамические, гидрогазогеохимические и геофизические предвестники перед сейсмическими событиями.

В земной коре диссипативные геологические структуры могут иметь место в горном массиве, где отмечаются высокие градиенты тепломассопереноса (кольцевые структуры, или структуры центрального типа) и, в частности, тектоническая структура. Дагестанский клин или его некоторые зоны, по-видимому, соответствуют таким условиям. Такое предположение подтвердилось усилением сейсмической активности в окрестностях Чиркейского водохранилища и вдали от него в период его заполнения и эксплуатации [Левкович др., 1982], что свидетельствует о разрушении блоков разного ранга (диссипативных структур) под воздействием внешних по отношению к структуре возмущающих факторов.

На заключительной стадии активизации сейсмичности, которая составляет примерно 10% периода повторения для сильных землетрясений [Федотов, 1968], очаг землетрясения, по мнению Барсукова В. Л. и др. [Барсуков, Беляев, 1992] представляет собой генератор механических импульсов возрастающей периодичности и частоты. Время распространения их зависит от плотности среды и по сравнению со временем диффузии растворов и газов в земной коре можно считать мгновенной. При этом регистрирующая гидрогазогеохимическая система представляет собой резонатор с ограниченным набором собственных частот. Появление предвестника отражает эффект резонанса на одной из собственных или кратных ей частот регистрирующей геохимической системы подземной гидросферы.

### **Объекты исследований**

**Геохимическая станция «Караман».** Станция расположена в 32 км севернее Махачкалы на побережье Каспийского моря. Географические координаты  $\lambda = -43,20$  и  $\varphi = -47,45$ , гипсометрический уровень  $-25$  м. Станция оборудована газовым хроматографом ЛХМ-80. Геохимические наблюдения ведутся на базе природного газа

воды скважины «Караман», эксплуатационная глубина которого составляет 643 м. Пробы газа отбираются 2 раза в сутки. Дегазированный газ состоит, в основном, из  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{CO}_2$ , присутствует также гелий.

**Наблюдательный пункт «Дубки».** Расположен пункт в сейсмоактивной области Дагестанский клин на сейсмостанции «Дубки». Пункт оборудован высокочувствительным сенсором водорода ВСГ – 02. Чувствительность равна  $10^{-6}$  об%. Аппарат работает в непрерывном режиме.

**Наблюдательный пункт «Учхоз».** Расположен пункт на северо-западе г. Махачкалы и оборудован высокочувствительным ( $10^{-6}$ – $10^{-3}$  об. %) датчиком водорода ВГ-3А. Датчик находится на глубине 1,5 м от земной поверхности и работает в непрерывном режиме.

### Методика обработки геохимических данных

Исходили из предположения, что не абсолютные значения, а приращения значений величины исследуемого параметра, его дисперсия, могут иметь определенную физическую сущность при исследовании предвестников землетрясений. Как известно, по физическому смыслу дисперсия отражает энергетическое воздействие на систему, в данном случае, на физико-химическую систему подземных водно-газовых образований, а также на дегазацию массива горных пород. В связи с этим данные геохимических временных рядов подвергнуты статистической обработке, суть которой изложена в статье [Саидов, Даниялов, 2007]:

1. Вычисляются средние значения геохимических временных рядов с определенной статистически значимой шириной окна (10 суток) и соответствующей величиной сдвига ширины окна. В данном случае величина сдвига составляет 1 сутки, что усиливает тесноту взаимосвязи между соседними измерениями и относится ко дню, следующему за рассчитываемым интервалом (физически реализуемый фильтр), т. е. каждое выходное значение ряда является результатом обработки только предыдущих входных сигналов. Переходя последовательно от интервала к интервалу таких наблюдений, можно оценить динамику изменения их статистических свойств, в том числе дисперсии в смежных временных интервалах.

2. Сопоставляются полученные данные с сейсмическими событиями региона. Соответствующие сейсмические события, с указанием класса землетрясений получены по данным региональной сети сейсмических станций Дагестанского филиала ГС РАН.

### Обсуждение результатов анализа геохимических временных рядов

На рисунках 1 и 2 представлены вариации непрерывных временных рядов водорода по станции «Дубки» за 2004–2014 годы и аналогичные ряды измерений гелия по станции «Караман» за 2006–2011 годы.

На рисунках отмечаются годовые периоды в вариациях водорода и гелия. Они, по всей вероятности, имеют космическую природу и обусловлены периодическими деформационными процессами в земной коре при орбитальном вращении Земли вокруг Солнца. На общем фоне кривой аппроксимации заметны весьма значительные флуктуации водорода и гелия. Как нами показано [Саидов, 1991], прохождение

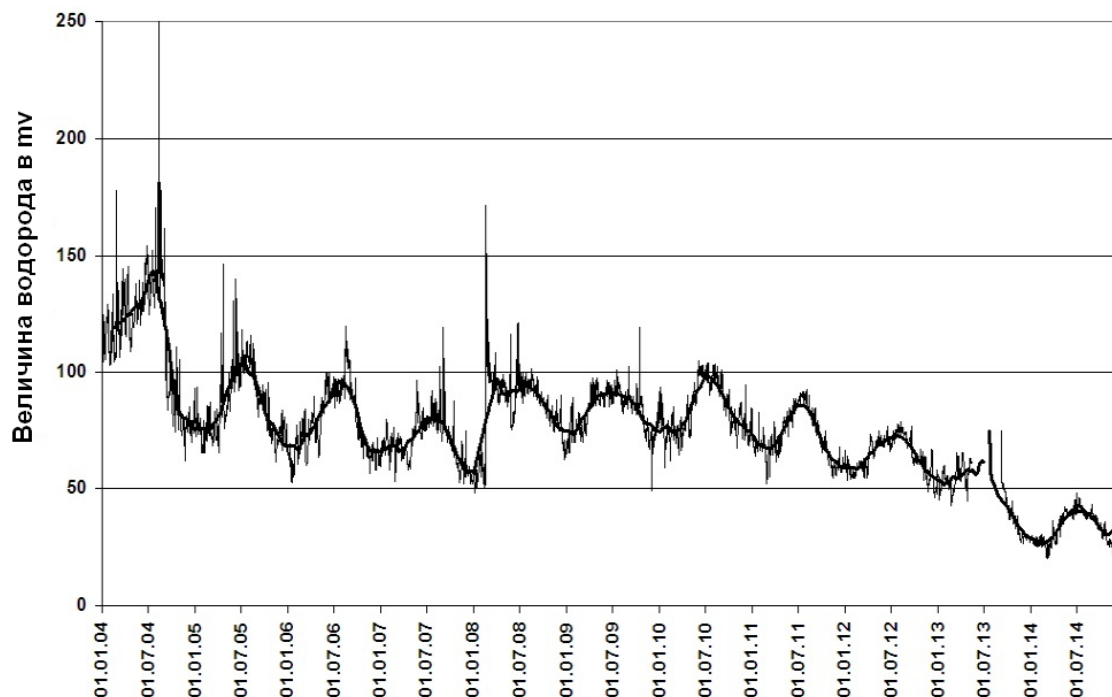


Рис. 1. Вариации водорода и аппроксимирующая кривая (ст. Дубки, 2004–2014 гг.)

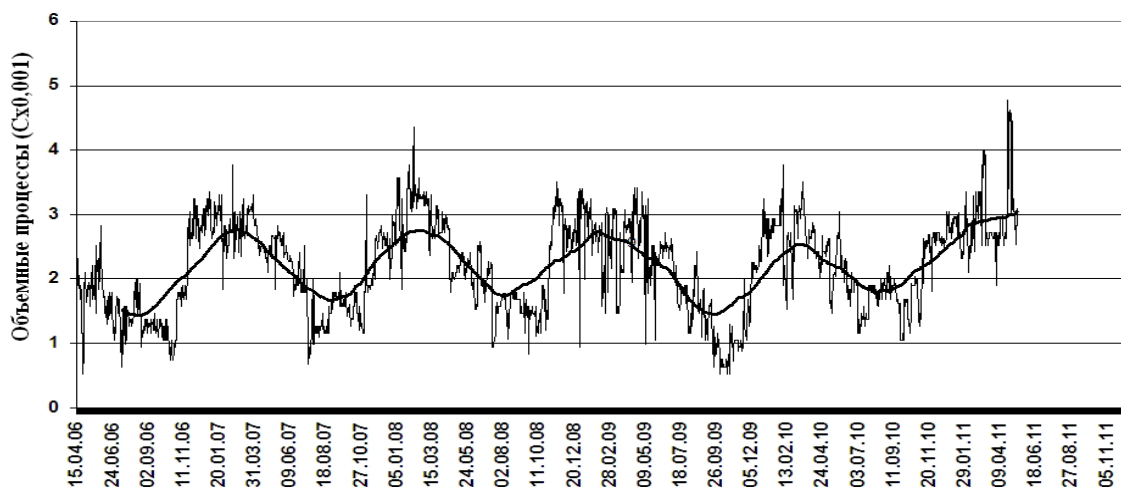


Рис. 2. Вариации гелия и аппроксимирующая кривая (ст. Караман, 2006–2011 гг.)

приливных волн, как лунных, так и солнечных вызывает периодическую деформацию расширения и раскрытия трещин в земной коре, способствуя при этом повышению общей проницаемости среды.

Наибольшие изменения в газовом составе вызывает полусуточная приливная волна Луны  $M_2$ , а легкие компоненты подземной водно-газовой системы, в частности, водород, гелий, метан и другие, обладающие минимумом свободной энергии, доминируют в дегазированных газах земных недр. Гармонический анализ дебита метана показал, что минимум дисперсии соответствует аппроксимирующей функции с периодами в 7, 14, 182 суток. Поэтому период, который отмечается в вариациях водорода и гелия, может быть обусловлен периодом 182 суток. В то же время,

как видно на рис. 1 и 2 максимумы аппроксимации водорода и гелия смещены на полгода, что требует соответствующих исследований.

Следует отметить, что длительные многолетние данные вариаций водорода (11 лет), гелия (5 лет) и других компонентов природного газа получены впервые. Изучение воздействия сейсмических событий на вариации этих газов за этот длительный период изложить в одной статье практически невозможно. В связи с этим рассматриваются материалы последних лет (2013–2014 гг.), и основное внимание будет уделено величине дисперсии вариаций состава природных газов.

Значимость величины дисперсии и ее прогнозная информативность, связанная с изменением во времени локальных характеристик распределения, в том числе в геохимических временных рядах, отмечается в работе [Барсуков, Беляев, 1992]. Предлагаемый авторами метод основан на статистической оценке изменчивости дисперсии в смежных временных интервалах. 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 компонента может оставаться фоновым, в то время как дисперсия принимает аномальное значение. Примером такого поведения может служить дисперсия вариаций водорода на ст. «Учхоз» (рис. 3) при землетрясениях энергетического класса  $K=13,5$  и  $K=13$  с координатами  $\lambda=46,73$ ,  $\varphi=41,63$  и  $\lambda=49,05$  и  $\varphi=42,73$  соответственно 29 июня и 31 июля 2014 года. Как видно на рисунке, сейсмическое событие произошло после соответствующего повышения величины дисперсии, на его спаде (в первом случае) или при ее минимальных значениях (во втором случае). При этом среднее значение остается практически фоновым.

Сейсмические события,  $K=11$  ( $M_s=4$ ) и выше за исследуемый период, имевшие место на разном удалении от пунктов наблюдений, по данным сейсмических станций ДФ ГС РАН представлены в таблице 1. Здесь же указаны деформационные радиусы землетрясений, вычисленные по известной эмпирической формуле:

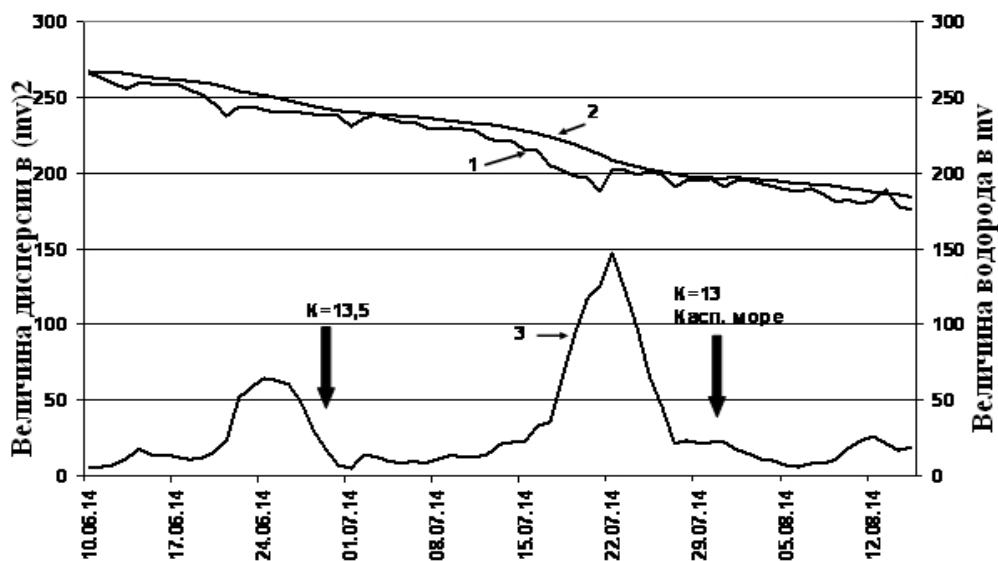


Рис. 3. Дисперсия вариаций водорода (ст. Учхоз, 2014 год):  
1 – фактические данные, 2 – скользящая средняя, 3 – дисперсия

$$R = 10^{0,43 \frac{2K-9,6}{3}}, \quad (1)$$

Таблица 1

	Дата	$\varphi$	$\lambda$	K	R км	Регион
1	17.09.13	42,07	45,80	13	223	Даг.-Грузия погр. обл.
2	17.10.13	40,85	44,06	11	60	Азербайджан
3	24.11.13	43,08	45,82	11	60	Чечня
4	10.01.14	41,90	49,78	12,5	158	Каспийское море
5	10.02.14	40,10	49,19	12,5	158	Азербайджан
6	15.03.14	41,78	48,95	11,6	87	Каспийское море
7	27.04.14	42,91	45,67	11,7	95	Чечня
8	02.06.14	43,57	45,27	12,3	141	Чечня
9	29.06.14	41,63	46,68	13	223	Азербайджан
10	31.07.14	42,56	49,37	12,5	158	Каспийское море
11	29.09.14	41,12	48,01	13,3	275	Азербайджан
12	04.10.14	41,06	47,79	12,7	181	Даг.-Азерб. погр. обл.
13	18.10.14	42,52	45,55	11	60	Чечня
14	24.11.14	43,08	45,82	11	60	Чечня

Как видно из таблицы, большинство сейсмических событий происходят вдали от наблюдательных пунктов, тем не менее, судя по деформационным радиусам, ряд сейсмических событий охватывает наблюдательные пункты ДФ ГС РАН.

На рис. 4 представлены данные дисперсии вариаций водорода по ст. «Дубки» с сентября 2013 года по декабрь 2014 года. На рисунок нанесены также сейсмические события в хронологическом порядке в соответствии с таблицей 1.

Как видно на рис. 4, отмечаются определенные периоды повышения и соответствующего снижения значений дисперсий, образуя при этом своеобразные «дисперсионные бухты», которые сопровождаются сейсмическими событиями. Сейсмические события происходят в основном после соответствующего повышения дисперсии или соответствуют минимальным ее значениям, что является прогнозным признаком. Особенно это заметно перед крупными сейсмическими событиями

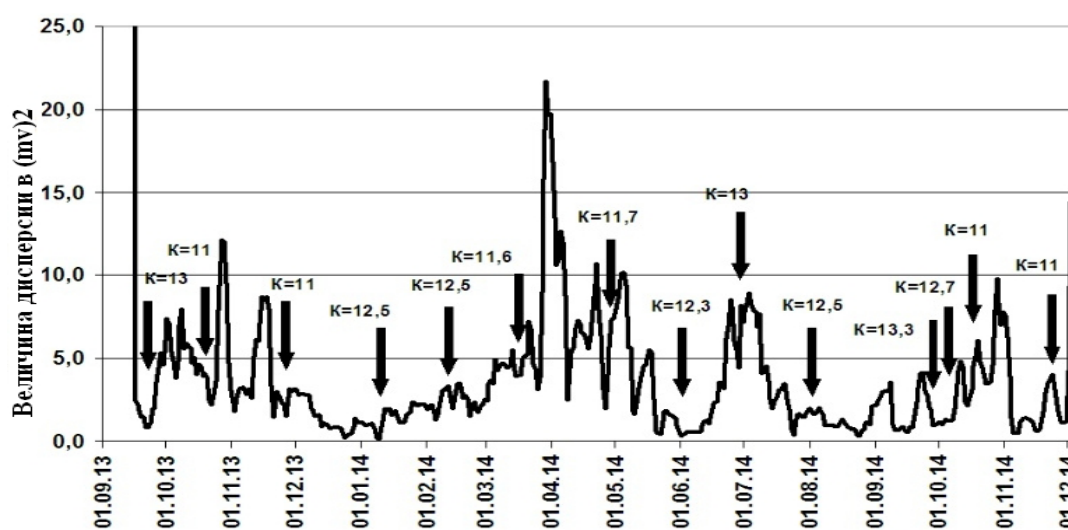


Рис. 4. Дисперсия вариаций водорода (ст. Дубки, 09.2013–12.2014 гг.)



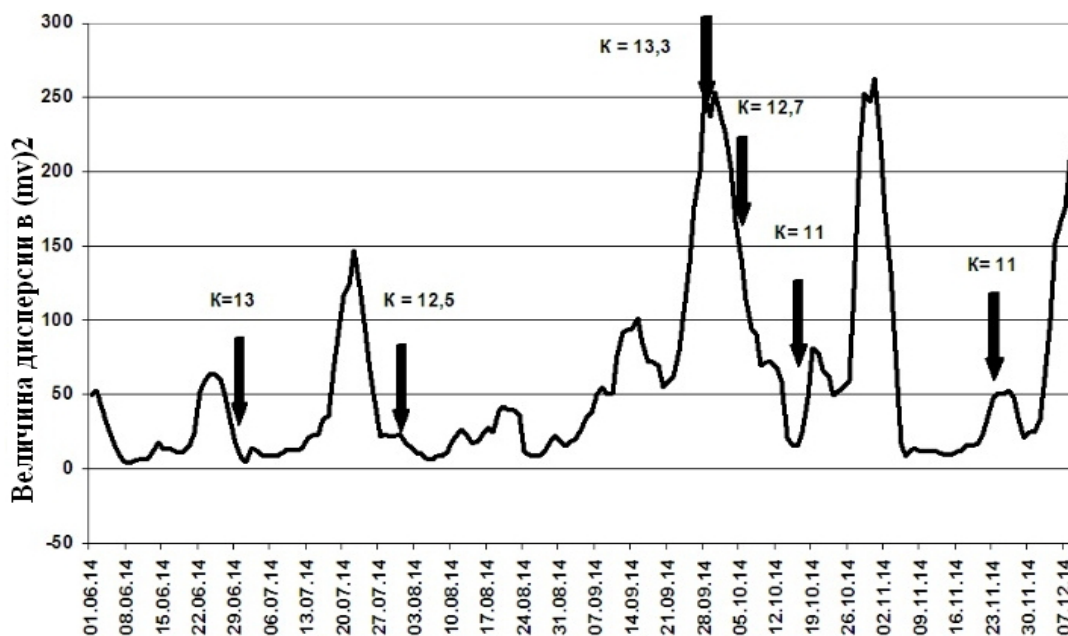


Рис. 5. Дисперсия вариаций водорода (ст. Учхоз, 06.2014–12.2014)

12,5–13 класса, в частности, от 17.09.2013, 2.06.2014, 29.06.2014, 31.07.14 года и перед другими сейсмическими событиями.

Таким образом, динамика дисперсии временного ряда отражает энергетическое воздействие на состояние системы, в данном случае на дегазацию водорода в горном массиве.

На рисунке 5 показана дисперсия вариаций водорода в приземной атмосфере на станции «Учхоз» с июня по декабрь 2014 года. Как видно на рисунке 5, сейсмическое событие 29.06.2014 г.  $K=13$  и последующие за ним сейсмические события четко отразились на дисперсии водорода на ст. «Учхоз». События происходят на спаде величины дисперсии, после соответствующего его повышения и соответствуют, как правило «дисперсионной бухте». Следует отметить, что сейсмические события от 29.06.2014,  $K=13$  и 28.09.2014,  $K=13,3$ , которые произошли в Азербайджане с близкими деформационными радиусами, одинаково отразились в дисперсиях водорода, первое на ст. «Учхоз» и второе на ст. «Дубки». Эти землетрясения, в отличие от других, соответствуют максимальным значениям дисперсий на соответствующих станциях, где отмечается скачкообразные изменения дисперсии, что, вероятно, связано с одинаковыми механизмами очагов этих землетрясений.

На рис. 6 представлены дисперсии вариаций отношений метана к азоту-стандарту (воздушный азот) в природном газе скважины «Караман».

Как видно на рисунке, как и в случае водорода, сейсмические события происходят после повышения величины дисперсии отношений метана к азоту, на его спаде или спустя некоторый промежуток времени и соответствуют, как правило, минимальным значениям дисперсии отношений метана к азоту-стандарту, образуя характерную и для водорода «дисперсионную бухту». Сравнение дисперсий вариаций водорода по данным ст. «Дубки» и ст. «Учхоз» с аналогичными данными по дисперсии отношений метана к азоту-стандарту по ст. «Караман» показывает подобие в закономерностях воздействия сейсмических событий на различные по реоло-

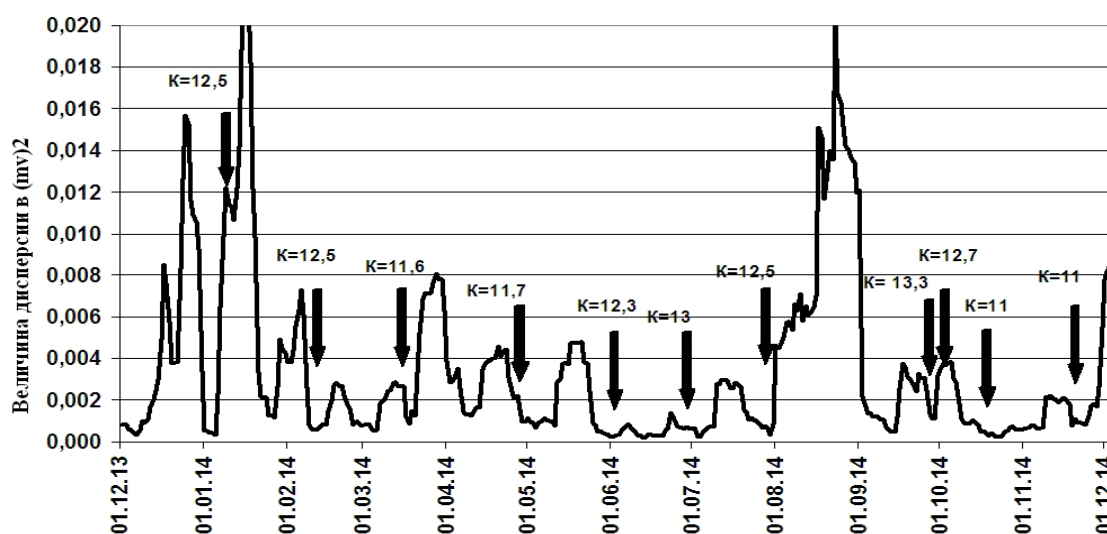


Рис. 6. Дисперсия вариаций отношений метана к азоту-стандарту  
(ст. Караман, 12.2013–12.2014 гг.)

гическим свойствам системы (в данном случае на горный массив и на подземные водно-газовые системы).

Таким образом, проведенные исследования показали тесную взаимосвязь между статистическими параметрами смежных временных интервалов геохимического ряда и сейсмическими событиями на Восточном Кавказе. Показано, что в периоды предшествующие и сопутствующие землетрясениям, величина дисперсии в смежных интервалах временных геохимических рядов изменяется закономерно. В периоды повышения сейсмической активности в зависимости от силы готовящегося землетрясения образуется четкое поле повышенных значений дисперсии, которые в ряде случаев являются предвестниками сейсмических событий. Следует подчеркнуть, что минимум дисперсии в параметрах временных геохимических рядов предполагает и минимум энтропии в возбуждающей термодинамической системе, т.е. в очаге землетрясения. В результате релаксации упругой энергии происходит консолидация горных пород, термодинамическая система переходит в наиболее вероятное, устойчивое состояние.

### Литература

1. Барсуков В.Л., Беляев А.А. Геохимические методы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1992, 213 с.
2. Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А., и др. Геодинамический эффект, создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях. М.: Наука, 1982. 76 с.
3. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Подобие в геофизике. // Изд. «Наука», Природа, 1991, №1, С. 13–23.
4. Саидов О.А., Даниялов М.Г. О методике обработки и интерпретации временных геохимических рядов, как предвестника землетрясений. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. // Материалы второй международной сейсмологической школы (13–17 августа), Пермь, 2007. С. 184–189.



5. Саидов О.А. Деформации прогибания и газогеохимические вариации при возбужденных землетрясениях. // Изв. АН СССР, Геохимия, 1991, № 1. С. 27–38

6. Федотов С.А. О сейсмическом цикле. // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 314–326.

DOI: 10.23671/VNC.2015.3.55278

## **GASES IN CONNECTION WITH SEISMIC EVENTS ON THE FASTERN CAUCAUS**

**© 2015 O.A. Saidov, Sc. Candidate (Geol.-Min.)**

The Dagestan branch FGBUN GS RAN, 367008 Republic Dagestan, Makhachkala,  
str. Belinskogo, 16, e-mail: omarsaidov1@yandex.ru

It is shown that during the periods previous and associated of earthquakes, the dispersion amount in complementari intervals of time geochemical sequence has regular variation. During the periods of seismic activity increase depending on the preparing earthquake intensity the clear field of the dispersion increased values is formed.

**Keywords:** hydrogen, helium, methane, variations, dispersion, earthquake.