

УДК 550.348.098.64

Вариации концентрации водорода в приземной атмосфере в связи с проявлением сейсмичности на Восточном Кавказе

© 2020 г. О.А. Саидов

ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала, Россия

Аннотация. По данным литературных источников рассмотрены современные представления об очаге землетрясения как об одном из блоков иерархической структуры земной коры, теряющем устойчивость при энергообмене с окружающей средой. На двух наблюдательных пунктах в тектонической области Дагестанский клин (Республика Дагестан) проведены длительные непрерывные измерения (шесть лет) концентраций водорода в приземной атмосфере. Показано, что вариации концентраций водорода в приземной атмосфере имеют годичную периодичность. При этом в смежных временных интервалах ряда отмечается изменение дисперсии концентраций водорода. Вначале происходит повышение величины дисперсии, после чего отмечается её скачкообразное снижение, ступени которого в большинстве случаев соответствуют сейсмическим событиям. Изменение величины дисперсии в смежных временных интервалах концентраций водорода предполагает и соответствующее изменение энтропии в возбуждающей термодинамической системе, т.е. в очаге землетрясения. В результате релаксации упругой энергии термодинамическая система переходит в наиболее вероятное, устойчивое состояние и соответственно величины дисперсии концентраций водорода стремятся к минимуму.

Ключевые слова: мониторинг, водород, вариации, дисперсия, землетрясение.

Для цитирования: Саидов О.А. Вариации концентрации водорода в приземной атмосфере в связи с проявлением сейсмичности на Восточном Кавказе // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 75–83. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.07>

Введение

Изучению гидро-газогеохимических критериев оценки сейсмической активности посвящены многочисленные монографии и научные статьи, как в центральной, так и в региональной периодической печати. В данной работе отметим некоторые из них: [Войтов, Попов, 1989; Осика, 1981; Барсуков, Беляев, 1992; Саидов, Сулейманов, 2010; Сейсмический ..., 2007]. Следует констатировать, что до сих пор не обнаружено отчётливой статистически достоверной взаимосвязи между моментом и силой сейсмического события с одной стороны, и вариациями гидрогазогеохимических параметров с другой стороны, хотя в ряде случаев перед сейсмическим событием отмечается классический «бухтообразный» ход этих параметров во времени.

В связи с этим исследование дегазации лёгких газов, в частности, вариаций концентраций водорода и его мониторинг во времени, не потеряло своей актуальности, поскольку водо-

род может контролировать внутреннее состояние блоков земной коры, их стабильность или активность.

Согласно модели М.А. Садовского [Садовский, Писаренко, 1991], упругая энергия, малая часть которой излучается в виде сейсмических волн, заключена в некотором объёме горной породы, в одном из блоков иерархической структуры, теряющем устойчивость при энергообмене с окружающей средой. Как открытая термодинамическая система такой блок постоянно обменивается энергией с окружающим пространством, тем самым поддерживая свою внутреннюю упорядоченность, структурные связи, локально уменьшая энтропию, способствуя при этом изменению энтропии окружающего пространства. Такие структуры в неравновесной термодинамике известны как диссипативные структуры (структуры, далёкие от равновесия) и возникают в разных средах (в земной коре, океанах, атмосфере, биосфере и др.) [Ребане, 1985]. Они динамичны, меняют своё состояние

во времени, тем не менее, могут существовать долго, пока существуют энергетические потоки, которые поддерживают их структуру. 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.

В земной коре диссипативные геологические структуры могут иметь место в горном массиве, где отмечаются высокие градиенты теплопереноса (кольцевые структуры, или структуры центрального типа). 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 и др., 1982], что свидетельствует о разрушении блоков разного ранга (диссипативных структур) под воздействием внешнего по отношению к структуре возмущающего фактора [Саидов, 1991].

В то же время очаг землетрясения представляет собой генератор механических импульсов возрастающей периодичности и частоты [Барсуков, Беляев, 1992]. Время распространения их зависит от плотности среды и по сравнению со временем диффузии растворов и газов в земной коре, его можно считать малым. Как показано в [Барсуков, Беляев, 1992], прогнозные сигналы концентраций гелия от различно удалённых очагов появляются в пункте наблюдений без существенного сдвига во времени. Такое явление можно объяснить только появлением в земной коре возбуждающих колебаний с высокими скоростями из зоны очага землетрясения на заключительной стадии его разрушения. При этом регистрирующая газо-геохимическая система (в данном случае вариации концентраций водорода в приземной атмосфере) 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

Дагестанским филиалом ФИЦ ЕГС РАН в сейсмоактивной области Дагестанский клин (Республика Дагестан) созданы две наблюдательные станции для исследований вариаций концентраций водорода в приземной атмосфере

ре в связи с региональной сейсмичностью Восточной части Северного Кавказа и сопредельных территорий, включая акваторию Среднего Каспия.

Наблюдательный пункт «Дубки». Расположен пункт в сейсмоактивной области Дагестанский клин на сейсмостанции «Дубки». Пункт оборудован высокочувствительным сенсором водорода ВСГ-02. Чувствительность – $(10^{-6}-10^{-3}$ об.%). Аппарат работает в непрерывном режиме.

Наблюдательный пункт «Учхоз». Расположен пункт на северо-западе г. Махачкалы. Пункт открыт в ноябре 2013 г. 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 исходных данных

Исходили из предположения, что не абсолютные значения, а приращения значений величины исследуемого параметра, его дисперсия, могут иметь определённую 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 концентраций водорода подвергнуты статистической обработке, суть которой изложена в [Саидов, Даниялов, 2007].

1. Вычисляется скользящее среднее с окном десять суток и сдвигом одни сутки, что усиливает тесноту взаимосвязи между соседними измерениями (физически реализуемый фильтр). 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 эпицентров и класса землетрясений получены по данным региональной сети сейсмических станций Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН и Службы срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН [ССД].

Результаты анализа временных рядов концентраций водорода

На рис. 1 показана общая картина вариаций временного ряда концентрации водорода в приземной атмосфере по данным водородного

сенсора станции «Дубки» за 2013–2018 гг., а на рис. 2 – соответствующие вариации концентраций водорода на станции «Учхоз».

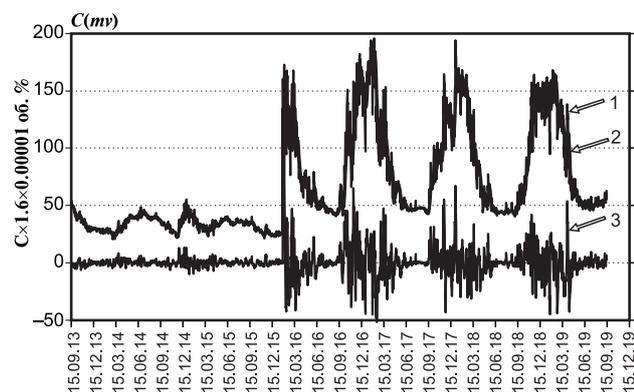


Рис. 1. Вариации концентрации водорода (станция «Дубки», 2013–2018 гг.).

1 – фактические данные; 2 – скользящее среднее; 3 – вариации вокруг скользящего среднего

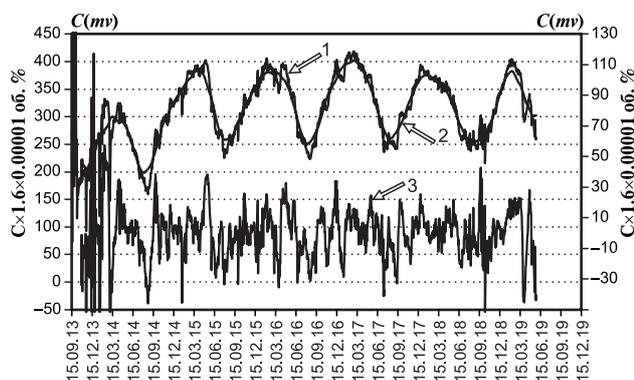


Рис. 2. Вариации концентрации водорода (станция «Учхоз», 2013–2018 гг.).

1 – фактические данные; 2 – скользящее среднее; 3 – вариации вокруг скользящего среднего (правая ось)

Как видно на рис. 1, отмечаются весьма значительные изменения амплитуды и частоты вариаций водорода во времени. Особенно это заметно после резкого повышения концентраций водо-

рода в приземной атмосфере, начиная с февраля 2016 г., которое, по всей вероятности, связано с землетрясениями на территории Чеченской Республики с глубинами очагов 150 км. ($K=11.5$, $\varphi=43.55^\circ\text{N}$, $\lambda=45.57^\circ\text{E}$) и 70 км ($K=13.2$, $\varphi=43.10^\circ\text{N}$, $\lambda=46.55^\circ\text{E}$), соответственно от 3 февраля 2016 г. и 13 мая 2016 г. [ССД]. В последующем, примерно через три месяца, вариации концентраций водорода снижаются и происходит их стабилизация на уровне чуть выше первоначального. Начиная с середины сентября 2017 г., вариации концентраций водорода вновь повышаются и совершают скачкообразные изменения повышения и снижения. Как видно на рис. 1, в вариациях водорода отмечается годовичная периодичность. Аналогичные изменения отмечаются также в вариациях водорода в приземной атмосфере на наблюдательном пункте «Учхоз» (рис. 2). Как видно на рис. 2, отмечается четкий годовой период в вариациях водорода.

По всей вероятности, годовичные периоды в вариациях водорода имеют космическую природу и обусловлены периодическими деформационными процессами в земной коре при орбитальном вращении Земли вокруг Солнца. При этом в перигелии отмечается повышение концентраций водорода, а в афелии – их понижение. Аналогичные изменения в вариациях водорода отмечаются и в работе [Раздел 1.3.1..., 2010].

Как видно на рис. 1 и 2, на общем фоне кривой аппроксимации заметны весьма значительные флуктуации водорода. Особенно это заметно в вариациях водорода вокруг скользящего среднего. Для лучшей наглядности вариации вокруг скользящего среднего на рис. 2 описываются правой вспомогательной осью с увеличенным масштабом, по сравнению с основной осью.

Сейсмические события на Восточном Кавказе с $K \geq 11$ ($M_s \geq 4$) за период с 01.01. по 31.05.2017 г., очаги которых расположены на разном удалении от пунктов наблюдений, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Список землетрясений на Восточном Кавказе с $K \geq 11$ за период с 01.01. по 31.05.2017 г. по данным ДФ ФИЦ ЕГС РАН

№	Дата, дд.мм.гггг	φ , °N	λ , °E	K_p	R , км	Δ , км «Дубки»	Δ , км «Учхоз»	H , км	Регион
1	20.01.2017	41.58	42.16	12.0	115	360	400	10	Грузия–Армения–Турция погр. обл.
2	06.02.2017	40.52	50.68	11.5	83	430	400	10	Каспийское море
3	06.03.2017	43.36	45.92	12.8	210	73	120	15	Чечня
4	13.03.2017	42.43	43.77	12.0	115	220	260	10	Грузия
5	22.04.2017	43.50	45.44	11.5	83	105	150	150	Чечня
6	03.05.2017	42.24	47.17	13.5	311	75	70	15	Горный Дагестан
7	11.05.2017	39.99	48.53	14.0	433	400	360	60	Азербайджан
8	14.05.2017	43.07	46.77	11.0	59	8	50	10	Горный Дагестан

Здесь же указаны эпицентральные расстояния до пунктов наблюдений «Дубки» и «Учхоз» и деформационные радиусы землетрясений, вычисленные по эмпирической формуле [Добровольский и др., 1980]:

$$R = 10^{\frac{0.43^{2K-9.6}}{3}}$$

Как видно из табл. 1, землетрясения в основном происходили вдали от наблюдательных пунктов, тем не менее, судя по эпицентральному расстоянию и деформационным радиусам, наблюдательные пункты ДФ ФИЦ ЕГС РАН в ряде случаев находятся в зоне подготовки сейсмического события.

На рис. 3 и 4 представлены данные дисперсии водорода по станциям «Дубки» и «Учхоз», стрелками показаны моменты сейсмических событий из табл. 1.

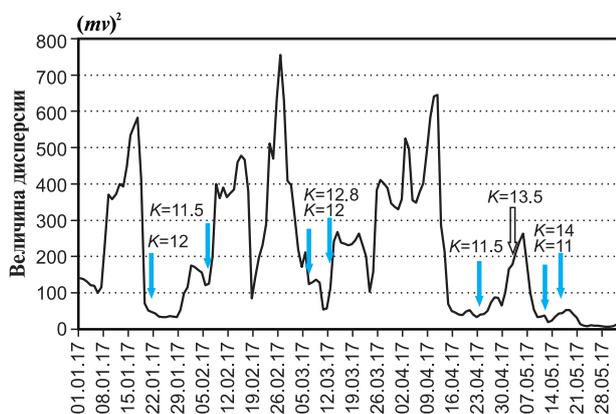


Рис. 3. Дисперсия вариаций концентрации водорода (станция «Дубки», 01.01. – 31.05.2017 г.)

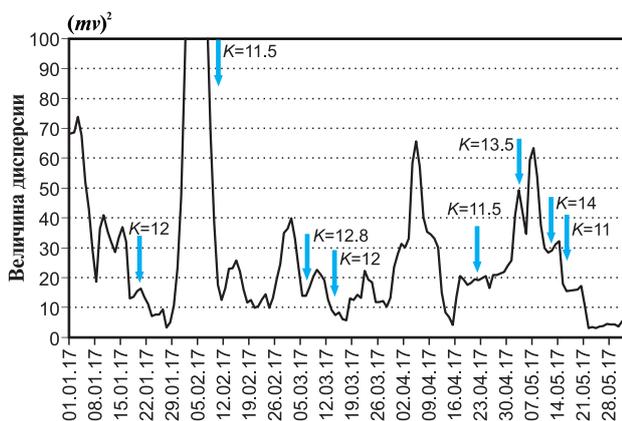


Рис. 4. Дисперсия вариаций концентрации водорода (станция «Учхоз», 01.01. – 31.05.2017 г.)

Как видно на рис. 3 и 4, отмечаются определённые периоды повышения и соответствующего снижения значений дисперсий, которые

сопровождаются землетрясениями. Вначале происходит повышение величины дисперсии, после чего отмечается её скачкообразное снижение. Ступени скачкообразного изменения дисперсии в ряде случаев соответствуют сейсмическим событиям, а иногда сейсмические события соответствуют минимальным значениям дисперсии, что является прогнозным признаком.

Значимости величины дисперсии и её прогнозной информативности, 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.

Дисперсия временного ряда связана с энергией процесса [Барсуков, Беляев, 1992], то есть её динамика может отражать изменение энергетического воздействия на термодинамическую систему (в данном случае на газо-геохимическую), что согласуется с общим положением теории случайных процессов.

В табл. 2 представлен список сейсмических событий на Восточном Кавказе за 2018 г. по данным ССД ФИЦ ЕГС РАН [ССД]. Здесь же указаны деформационные радиусы землетрясений, эпицентральные расстояния (Δ , км) до наблюдательных пунктов «Дубки» и «Учхоз», а также энергетический класс землетрясений K ($K \geq 10$). В таблицу внесено одно сейсмическое событие с $K=9$, наиболее близкое по эпицентральному расстоянию к пункту наблюдений. Большинство сейсмических событий, так же, как и в 2017 г., происходят вдали от наблюдательных пунктов, тем не менее, судя по деформационным радиусам R , в ряде случаев наблюдательные пункты «Дубки» и «Учхоз» находятся в зоне подготовки сейсмического события.

Как видно на рис. 5 и 6, наблюдается несколько чётких периодов разной длительности во временном интервале, повышения и снижения величины дисперсии. На рис. 5 отмечается три периода, а на рис. 6 – четыре периода повышения и снижения величины дисперсии. На рис. 5 имеется один временной интервал, где изменения дисперсии не замечены (между вторым и третьим периодами).

изменения дисперсии вариаций водорода отмечаются также на станции «Учхоз» (рис. 6), хотя временные интервалы и амплитуды величины дисперсии в некоторой степени отличаются. Следует отметить, что выявить детерминированную связь между величиной дисперсии вариаций водорода, энергетическим классом землетрясений и эпицентральной дистанцией в данном случае не представляется возможным в связи с тем, что зависимость между величиной дисперсии и энергетическим классом сейсмических событий связана с анизотропией геологической среды.

На рис. 5, на общем фоне изменения величины дисперсии, третий период характеризуется небольшими значениями дисперсии, хотя энергетический класс сейсмических событий сопоставим с энергетическими классами сейсмических событий первого и второго периодов.

На рис. 7 более крупным планом представлены изменения величины дисперсии во время третьего периода.

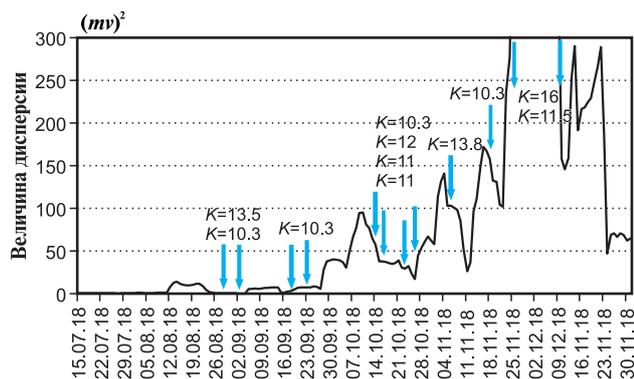


Рис. 7. Дисперсия вариаций концентрации водорода (станция «Дубки», июль—ноябрь 2018 г.)

Как видно, характер изменения величины дисперсии в связи с сейсмическими событиями отображён зеркально первому и второму периоду, но в то же время сохраняется ступенчатый характер изменения дисперсии.

Заключение

Таким образом, мониторинг вариаций концентраций водорода в приземной атмосфере показывает изменение дисперсии водорода в смежных временных интервалах геохимического ряда. Сначала происходит повышение величины дисперсии, после чего идёт её скачкообразное снижение. В большинстве случаев ступени скачкообразного изменения дисперсии соответствуют сейсмическим событиям. При этом наиболее вероятным представляется появ-

ление в земной коре на заключительной стадии разрушения очага землетрясения возбуждающих колебаний разной периодичности и частоты. Они, воздействуя на соответствующие вариации концентраций дегазации водорода в горном массиве, вызывают резонансные частоты и изменяют амплитуду и длительность аномалий, которые в ряде случаев являются предвестниками сейсмических событий.

Следует подчеркнуть, что изменение величины дисперсии в параметрах временных геохимических рядов предполагает и соответствующее изменение энтропии в возбуждающей термодинамической системе, т.е. в очаге землетрясения. В результате релаксации упругой энергии, термодинамическая система переходит в наиболее вероятное устойчивое состояние и соответственно величины дисперсии концентраций водорода стремятся к минимуму.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-01304-20.

Литература

- Барсуков В.Л., Беляев А.А. Геохимические методы прогноза землетрясений. — М.: Наука, 1992. — 213 с.
- Войтов Г.И., Попов Е.А. Геохимический прогноз землетрясений // Природа. — 1989. — № 12. — С. 60–64.
- Добровольский И.П., Зубков С.И., Мячкин В.И. Моделирование предвестников землетрясений. — М.: Наука, 1980. — С. 7.
- Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А. и др. Геодинамический эффект создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях. — М.: Наука, 1982. — 76 с.
- Осика Д.Г. Флюидный режим сейсмически активных областей. — М.: Наука, 1981. — 204 с.
- Раздел 1.3.1. Оценка перспектив выявления промышленных скоплений эндогенного водорода в литосфере / Рук. проекта С.В. Белов // Отчёт в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 14 за 2009 год. — М.: ГГМ РАН, 2010.
- Ребане К.К. Энергия, энтропия, среда обитания // Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Физика». — 1985. — № 4. — 64 с.
- Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Подобие в геофизике // Природа. — 1991. — № 1. — С. 13–23.
- Саидов О.А., Сулейманов А.И. Исследование вариаций водорода в приземной атмосфере, гелия и метана и природных газов в связи с сейсмическими событиями на Кавказе и сопредельных территориях // Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Материалы научно-практической конференции к 40-летию Дагестанского землетрясения

14 мая 1970 г. — Махачкала: ДИНЭМ, 2010. — С. 159–169.

Саидов О.А. Деформации прогибания и газогеохимические вариации при возбуждённых землетрясениях // Изв. АН СССР. Сер. Геохимия. — 1991. — № 1. — С. 27–38.

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. — Обнинск: ГС РАН, 2007. — С. 184–189.

Сейсмический мониторинг и изучение геодинамики территории Дагестана и акватории Среднего Каспия. Сборник трудов № 1 / Отв. ред. Р.А. Левкович, А.Ш. Исмаилов. — Махачкала: Эпоха, 2007. — 228 с.

ССД // Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» [сайт]. — URL: <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/eqakes.pl>

Сведения об авторе

Саидов Омар Абакарович, канд. геол.-мин. наук, зав. отд. Дагестанского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ДФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Махачкала, Россия. E-mail: omarsaidov1@yandex.ru

Variations of hydrogen in the surface-atmosphere in connection with the manifestation of seismic activity in the Eastern Caucasus

© 2020 O.A. Saidov

DB GS RAS, Makhachkala, Russia

Abstract According to the literature, modern ideas about the earthquake center as one of the blocks of the hierarchical structure of the earth's crust, which loses stability during energy and mass exchange with the environment, are considered. Long-term continuous measurements (6 years) of hydrogen concentrations in the surface-atmosphere were carried out at two observation points in the Dagestan wedge tectonic region (Republic of Dagestan). It is shown that variations of hydrogen concentrations in the surface-atmosphere have annual periodicity. At the same time, in adjacent time intervals of the series, a change in the dispersion of hydrogen concentrations is noted. Initially, there is an increase in the value of the dispersion, after which it is marked by an abrupt decrease, the stages of which in most cases correspond to seismic events. A change in the dispersion value in adjacent time intervals of hydrogen concentrations implies a corresponding change in the entropy in the exciting thermodynamic system, i.e. in the earthquake focus. As a result of relaxation of elastic energy, the thermodynamic system passes to the most probable, steady-state and accordingly values of dispersion of concentrations of hydrogen tend to a minimum.

Keywords monitoring, hydrogen, variations, dispersion, earthquake.

For citation Saidov, O.A. (2020). [Variations of hydrogen in the surface-atmosphere in connection with the manifestation of seismic activity in the Eastern Caucasus]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(2), 75-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.07>

References

- Barsukov, V.L., & Beljaev, A.A. (1992). *Geohimicheskie metody prognoza zemletrjasenij* [Geochemical methods of earthquake forecasting]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 213 p. (In Russ.).
- Dobrovol'skij, I.P., Zubkov, S.I., & Mjachkin, V.I. (1980). *Modelirovanie predvestnikov zemletrjasenij* [Earthquake Forerunner Modeling] (p. 7). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- EEAS, Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences. (2019). Retrieved from: <http://www.ceme.gras.ru/cgi-bin/new/eqquakes.pl>
- Levkovich, R.A., & Ismailov, A.Sh. (Eds.). (2007). *Seismicheskii monitoring i izuchenie geodinamiki territorii Dagestana i akvatorii Srednego Kaspiia. Sbornik trudov № 1* [Seismic monitoring and study of geodynamics of Dagestan territory and Middle Caspian water. Volume of works No. 1]. Makhachkala, Russia: Epokha Publ., 228 p. (In Russ.).
- Levkovich, R.A., Dejnega, G.I., Kasparov, S.A., et al. (1982). *Geodinamicheskij jeffekt, sozdaniya krupnykh vodohranilishh v seismoaktivnykh oblastjakh* [The geodynamic effect of large reservoirs in seismically active areas]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 76 p. (In Russ.).
- Osika, D.G. (1981). *Flyuidnyj rezhim seismicheski aktivnykh oblastej* [The fluid regime of seismically active regions]. Moscow, Russia: Nauka Publ. 204 p. (In Russ.).
- Razdel 1.3.1. Otsenka perspektiv vyivleniia promyshlennykh skoplenii endogennogo vodoroda v litosfere. Ruk. proekta S.V. Belov* [Section 1.3.1. Assessing the prospects for identifying industrial accumulations of endogenous hydrogen in the lithosphere. Project Manager S.V. Belov]. (2010). In *Otchet prezidiuma RAN N 14 za 2009 god* [Report of the Presidency of the Russian Academy of Sciences N. 14, 2009]. Moscow, Russia: GGM RAS Publ. (In Russ.).
- Rebane, K.K. (1985). *Jenergija, jentropija, sreda obitanija* [Energy, Entropy, Habitat]. Moscow, Russia: Znanie Publ., 64 p. (In Russ.).
- Sadovskij, M.A., & Pisarenko, V.F. (1991). [Similarity in geophysics]. *Priroda* [Nature], 1, 13-23. (In Russ.).
- Saidov, O.A. (1991). [Bend deformations and gas geochemical variations in excited earthquakes]. *Izv. AN SSSR, Geohimija* [News of AS USSR. Geochemistry], 1, 27-38. (In Russ.).
- Saidov, O.A., & Danijalov, M.G. (2007). [On the method of processing and interpreting time geochemical series as a harbinger of earthquakes]. In *Materialy II Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannyykh"*. [Proceedings of the II International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 184-189). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Saidov, O.A., & Sulejmanov, A.I. (2010). [Study of hydrogen variations in the surface atmosphere, helium and methane and natural gases in connection with seismic events in the Caucasus and adjacent territories]. In *Monitoring i prognozirovanie prirodnykh katastrof. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii k 40-letiju Dagestanskogo zemletrjasenija 14 maja 1970 g.* [Monitoring and forecasting natural disasters. Materials of the scientific-practical conference on the 40th anniversary of the Dagestan earthquake on May 14, 1970] (pp. 159-169). Makhachkala, Russia: DINJeM Publ. (In Russ.).
- Vojtov, G.I., & Popov, E.A. (1989). [Earthquake geochemical forecast]. *Priroda* [Nature], 12, 60-64. (In Russ.).

Information about author

Saidov Omar Abakarovich, PhD, Department Head of the Dagestan Branch of Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences (DB GS RAS), Makhachkala, Russia. E-mail: omarsaidov1@yandex.ru