

Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.

**ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЯЛЫК ЫКМА МЕНЕН БОЛО
ТУРГАН ЖЕР ТИТИРӨӨНҮН АЙМАГЫН БОЖОМОЛДООНУН
БИР МҮМКҮНЧҮЛҮГҮ ТУУРАЛУУ**

Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.

**ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАТЬ МЕСТО ПРЕДСТОЯЩЕГО
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Sh.S. Yusupov, L.Yu. Shin

**ABOUT ONE POSSIBILITY TO FORECAST THE PLACE OF THE FUTURE
EARTHQUAKE BY THE HYDROGEOSEMIOLOGICAL METHOD**

УДК: 578.4

Илим бир жаңы бутакты салынууда - гидрогеосейсмология эки илимдин кесилишинде ХХ кылымдын экинчи жарымында - гидрогеология жана сейсмология. Гидрогеосейсмология күчтүү илимий жана практикалык негиздери жана сейсмикалык ишинин алдын ала ишенимдүү ыкмаларынын бири болуп саналат жер астындагы суулардын режимин контролдоочу, негизинде, тектоникалык жараяндардын таасиринин натыйжасы катары. Бул бардык демейдегиден өзгөрүүлөрү көрсөтүлгөн үзгүлтүксүз мониторинг гидрогеосейсмологиялык параметрлери 1976-2016 чейин. Мурун аныкталган аномалиялар көмүр кычкыл газы, үлгүсү менен да жер астындагы газ курамы. Байкалган 180 учур, сейсмикалык ишине байланыштуу. Демейдегиден көрүнүштөр жана жер титирөө көрсөткүчтөрүнүн ортосундагы бирикмеси регрессиялык анализдин жардамы менен. Алынган маалыматтарга болжолдуу өлчөмдөрү сезгичтик аймагын жер титирөө прекурсорлорду аныктоо үчүн мүмкүнчүлүк жана келечектеги негизги мейкиндик ордун аныктоо ыктымалдыгы.

Негизги сөздөр: гидрогеосейсмология, жертиитирөөнү алдын алуу, өз ара байланыш жана регрессиялык анализ, аномалия, магнитуда, эпицентрдик аралык.

Образовалось новое направление науки – гидрогеосейсмология во второй половине ХХ века на стыке двух наук – гидрогеологии и сейсмологии. Гидрогеосейсмология приобрела крепкую научную и практическую базу и является одним из надежных методов предсказаний сейсмической активизации, на основе мониторинга режима подземных вод, как следствие воздействия тектонических процессов. Приведены все аномальные вариации непрерывного наблюдения за гидрогеосейсмологическими параметрами с 1976 по 2016 гг. Определены предвестниковые аномалии газового состава подземных вод на примере углекислого газа. Отмечено около 180 случаев, связанных с сейсмической активизацией. Выявлена связь между аномальными проявлениями и параметрами землетрясений с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Из полученных выражений появилась возможность определения

примерных размеров зоны чувствительности предвестников землетрясений и вероятность определения пространственного расположения будущего очага.

Ключевые слова: гидрогеосейсмология, прогноз землетрясений, корреляционно-регрессионный анализ, предвестники, аномалия, магнитуда, эпицентральное расстояние.

A new direction of science was formed - hydrogeosemology in the second half of the twentieth century at the junction of two sciences - hydrogeology and seismology. Hydrogeismic science has acquired a strong scientific and practical base and is one of the reliable methods for predicting seismic activation, based on monitoring the groundwater regime, as a result of the impact of tectonic processes. All anomalous variations of observation points for 40 years (1976-2016) of continuous observation of hydrogeoseismological parameters are given. The precursor anomalies of the gas composition of groundwater for example, carbon dioxide, about 180 cases, associated with seismic activation were determined. A connection is revealed in the form of a mathematical expression between anomalous manifestations and earthquake parameters using correlation and regression analysis. From the obtained expressions, it became possible to determine the approximate dimensions of the zone of sensitivity of earthquake precursors and the probability of determining the spatial location of the future source.

Key words: hydrogeoseismology, earthquake prediction, correlation and regression analysis, precursors, anomaly, magnitude, epicentral distance.

Введение. По результатам многолетних исследований ученых всего мира в т.ч. сейсмологов стран Центральной Азии гидрогеологический метод прогноза землетрясений, относится к одним из наиболее достоверных [1-20].

Гидрогеологический метод прогноза землетрясений, базируется на чувствительности подземной гидросферы к изменениям напряженно-деформированного состояния земной коры. Он основан на различных стадиях подготовки землетрясений поиску его предвестников в виде систем гидрогеодинамических показателей уровня воды, дебита источников

и скважин, пластового давления, а также гидрогеохимических характеристик состава воды, газов, изотопов и температурных показателей [2].

Гидрогеосейсмология, как новое научное направление, во второй половине XX века приобрела крепкую научную и практическую базу и является в данное время одним из надежных методов предсказаний сейсмической активизации. Основной задачей гидрогеосейсмологии является изучение влияния землетрясений на режим подземных вод, где сейсмичность, как следствие тектонических процессов, выступает одним из главных режимообразующих факторов. Так, на стыке двух наук – гидрогеологии и сейсмологии - образовалось новое направление науки – гидрогеосейсмология.

Методика. Гидрогеосейсмологический метод требует регулярных наблюдений за вышеуказанными характеристиками на источниках и режимных скважинах подземных вод. Используется метод статистической обработки данных временных рядов наблюдений. Методика требует выделения сигналов подготовки землетрясений. Разработан метод прогноз землетрясений и оценки сейсмической опасности по данным мониторинга гидрогеосейсмологических параметров подземных вод.

Например, в сейсмоактивных районах Республики Узбекистан нами в течение многих лет разработан метод регистрации аномальных изменений газо-химического состава подземных вод в т. ч. Углекислого газа, которые проявляются в зоне чувстви-

тельности наблюдательных пунктов перед землетрясениями. Режимные наблюдения проводились по стандартной методике – на высокочувствительных газовых хроматографах [11].

Приведены, полученные линейные зависимости показателей аномальных проявлений предвестников от таких параметров землетрясения как энергия землетрясения, т.е. магнитуда (M), эпицентральный расстояние (R), вычисленные с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

Статистический анализ гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений. Проведем некоторый сравнительный количественный анализ поведения предвестника по водопунктам за весь сорокалетний период наблюдений (1976-2016 г.г.). Естественно используем все землетрясения, произошедшие за этот период с $M/IgR \geq 2.5$.

Для наглядности берем один из самых известных предвестников – растворенный в подземных водах углекислый газ. В анализе участвуют все аномальные проявления не зависимо от их отношения к произошедшим землетрясениям.

В табл. 1 представлены результаты статистического анализа CO_2 за весь период наблюдений в сейсмоактивных районах Узбекистана. Было зафиксировано 173 аномальных проявлений. В 125 случаев параметр CO_2 откликнулся на произошедшие землетрясения, в 69 случаев перед свершением землетрясений, в 25 сопутствовал сейсмическому событию, а 31 раз он проявился после землетрясения.

Таблица 1.

Результаты статистического анализа аномальных вариаций параметра CO_2 в пунктах наблюдений

Проявление аномалии по CO_2	По всем пунктам	Чартак	Наманган скв.	БИЙ	Ходжабад 745	Озодбош. бул.	Чаткал	Текстиль	Минора	Назарбек	ДАН	ИБК	Чимён	Шурчи, скв.5	Шурчи, скв.7	Шурчи, скв.8
до	69	14	12	3	4	1	1	1	1	1	1	-	6	10	5	8
после	31	6	6	4	-	1	-	2	-	1	-	1	2	2	4	2
сопутствовал	25	9	-	3	1	-	-	2	-	1	-	-	-	4	2	3
Нет связи	48	14	5	10	2	-	-	2	-	-	-	-	4	4	3	4
Итого:	173	43	23	20	7	2	1	7	1	4	1	1	12	20	14	17

Анализ простой статистической обработки приводит к мысли, что 72 % от общего числа аномальных проявлений углекислого газа отреагировало на сейсмические события, из них в 94 случаях (54 % от общего количества аномалий) можно было спрогнозировать землетрясения в среднесрочном плане. То, что в 48 (28 %) случаев аномальные вариации не сопровождались землетрясением, это говорит о том,

что во время формирования этих аномалий в недрах земли действительно происходили тектонические процессы, которые привели к геохимическим преобразованиям, что мы и зафиксировали.

Следовательно, соответствующие деформационные процессы были, но в результате к землетрясению не привели. Эти результаты дают нам возможность более детально изучить природу гидрогеохи-

мических возмущений в недрах земли, которые, вероятно, обусловлены интенсивным развитием упругих напряжений и соответствующих деформаций водовмещающих пород. Генерация упругих волн в периоды до-, ко- и пост - сейсмических событий возможно облегчает поступление или исчезновение в водоносном горизонте того или иного элемента из водосодержащих пород. Эти вопросы будут нами рассматриваться в дальнейших исследованиях.

Мониторинг прогностических предвестников землетрясений. Основной задачей мониторинга землетрясений является, это фиксация предвестниковых показателей и получение статистически-эмпирического прогноза. Для данного прогноза требуется фиксация интервала времени от момента его появления до момента землетрясения, т.е. установление связи времени возникновения предвестника ΔT , и нахождение взаимосвязи с эпицентральным расстоянием (R) и энергией землетрясения (M). Для мониторинга прогностических параметров устанавливается ряд сейсмостанций, для инструментального определения на стадии подготовки координат, эпицентра и ожидаемой энергии землетрясения [15, 16].

Фиксацию линейной зависимости времени наблюдаемых аномалий углекислого газа от магнитуды и эпицентрального расстояния проводим помощью корреляционно-регрессионного анализа.

На основе данных табл. 1 были получены графики, зависимости от магнитуды землетрясения, времени проявления аномалий величины CO_2 (рис. 1) и эпицентральные расстояния (рис. 2).

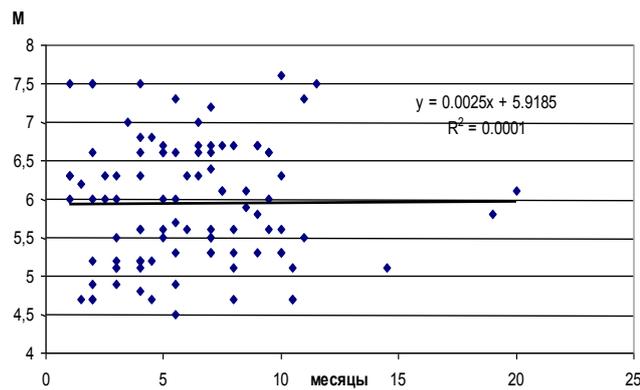


Рис. 1. Зависимость магнитуды землетрясений (M) от времени аномалии

Об отсутствии линейной связи между рассмотренными параметрами свидетельствуют рассчитанные нами коэффициенты соответственно равные 0,0001 и 0,002 корреляции этих искомым величин.

Мониторинг показал, что примерно от 1 до 10 месяцев до землетрясения протекают физические

процессы, вызывающие аномалии в наблюдательном пункте, что указывает на как среднесрочный газохимический предвестник CO_2 .

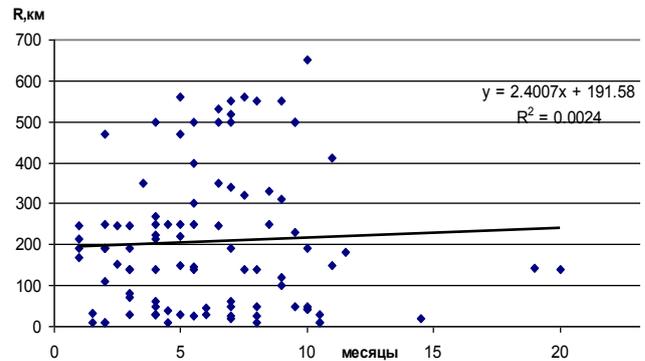


Рис. 2. Зависимость эпицентрального расстояния от времени аномалий

Это совпадает с мнениями других ученых [1-3, 5], которые утверждают, что длительность аномалий среднесрочного предвестника – недели-месяцы.

При условии когда аномалия имеет место перед несколькими землетрясениями, репером будет землетрясение с наибольшим значением $\lg R$. Для оценки наличия тесноты и формы связи M и R использовался корреляционно-регрессионный анализ.

Об отсутствии линейной связи между рассмотренными параметрами свидетельствуют рассчитанные нами коэффициенты корреляции этих искомым величин, соответственно равные 0,0001 и 0,002.

Мониторинг показал, что примерно от 1 до 10 месяцев до землетрясения протекают физические процессы, вызывающие аномалии в наблюдательном пункте, что указывает на как среднесрочный газохимический предвестник CO_2 .

Это совпадает с мнениями других ученых [1-3, 5], которые утверждают, что длительность аномалий среднесрочного предвестника – недели-месяцы.

Самый короткий период аномалии с начала его проявления до свершения землетрясения составляет 1 мес., а прогноз землетрясения начинается минимум с момента смены знака вариации, который приходится на промежуток времени максимум 0,5 мес. (2 недели). Пространственные размеры зоны подготовки землетрясений не подчиняются эмпирической формуле $R \sim e^M$, пригодной для событий в долгосрочных прогнозах. Непосредственно перед землетрясениями по данным [5], вследствие наличия в земной коре и неоднородности напряженно-деформированных процессов, косвенно проявляются в мозаичной структуре различные геофизические параметры.

На рис. 1, 2 показано отсутствие значимой связи между величиной аномалии CO_2 и расстоянием до

эпицентра, а также магнитудой землетрясений. Возможно, содержание CO_2 в подземных водах тесно связано с состоянием деформационных процессов в водосодержащих породах в период активного трещинообразования при подготовки землетрясений. Это также обусловлено с неоднородным по пространству выходом газа в подземные воды, как основного агента изменения квазистатического аномального проявления в водоносном горизонте.

По [7] рассматривается только первая аномалия, как фиксирующая момент попадания пункта наблюдения в зону пространственно-временного влияния очага готовящегося землетрясения, если аномалия появляется перед землетрясением два раза.

По данным [17, 18], если аномалия наблюдалась перед двумя землетрясениями с близко расположенными очагами, и второе имевшее большую энергию землетрясение, произошло через несколько часов после первого, то репером будет являться первое землетрясение, как указывающее в некотором приближении на окончание заключительной стадии подготовки этих землетрясений.

Результаты и их обсуждение. На рис. 3 представлена зависимость M от $\lg R$, и соответствующая прямая линии регрессии. При сочетании пар величин преобразований: $(M, \lg R)$ вычисляется коэффициент корреляции R .

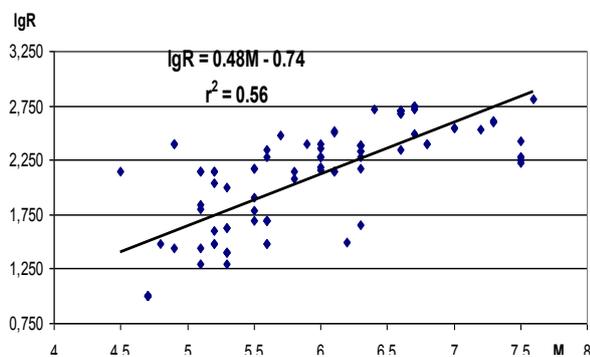


Рис. 3. Зависимость эпицентрального расстояния от магнитуды землетрясений

В дальнейшем с учетом комбинаций, при которых получается наиболее сильная линейная связь, рассматривалась регрессионная модель вида:

$$M = 1.17 \lg R + 3.5, \quad (1)$$

где $\lg R = (M - 3.5) / 1.17$. (2)

Характерные размеры вычисляются из выражения (2), откуда следует, что зоны проявления гидрогеологических предвестников землетрясений с $M = 5$ составляют до 20 км, для землетрясений с магнитудой $M = 6 - 140$ км, а для землетрясений с

$M = 7 - 1000$ км. Для оценки размеров области эффективного развития приповерхностной дилатансии в водовмещающих породах в зависимости от величины магнитуды землетрясения применяется вышеприведенная зависимость, позволяющая описывать в режиме водопроявлений, характеризующихся нормальной тензочувствительностью, область проявления гидрогеологических предвестников (CO_2).

В качестве параметра, характеризующего интенсивность процессов подготовки землетрясений, применяется величина $M/\lg R$ с учетом удаленности соответствующих очагов от пункта наблюдения.

Сопоставляя наши результаты с рекомендацией Уломова В.И. по выборке землетрясений, эпицентры которых удалены от пунктов наблюдения (самоизливающиеся скважины и источники) на расстояние, не превышающее размеры очага в 10 раз [12], мы пришли к выводу, что землетрясения Центральной Азии с 10-кратным размером очага соответствуют значениям $M/\lg R \geq 2.5$.

Регистрируемые гидрогеосейсмологические эффекты - это изменения уровня воды в колодцах и скважинах, колебания дебитов источников и самоизливающихся скважин, флуктуации химического, газового и изотопного состава подземных вод вследствие крупных сейсмических событий, которые проявляются на расстояниях до сотен километров от эпицентра.

Вышеприведенные особенности сейсмичности подтверждают и наши многолетние наблюдения, результаты которых изложены во многих научных трудах [4, 6, 10-13, 15].

Установлено, что все землетрясения с величиной $M/\lg R \geq 2.5$ вызывают аномальные изменения в режиме подземных вод.

На рис. 4 приведены графики газовой характеристики (CO_2) скв. Наманган, прогностической станции Чартак, зависимость скорости изменения предвестника от параметров землетрясения ($M/\lg R$).

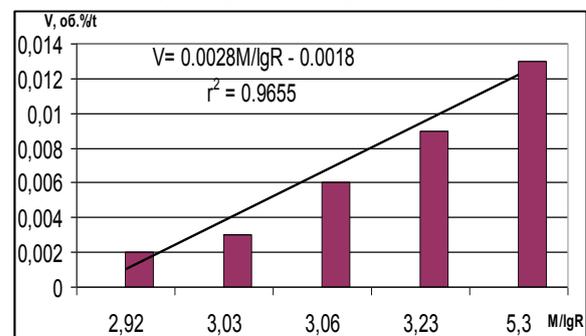


Рис. 4. График регрессионной зависимости скорости изменения концентрации углекислого газа от $M/\lg R$ (энергии землетрясений (M) и эпицентрального расстояния (R))

При построении графиков использовались только те сейсмические события, для которых можно было выделить «чистые» аномалии, т.е. такие, в которых четко фиксировался момент начала аномалии и её экстремум (землетрясения с $M / \lg R > 2.9$, табл. 2) [14].

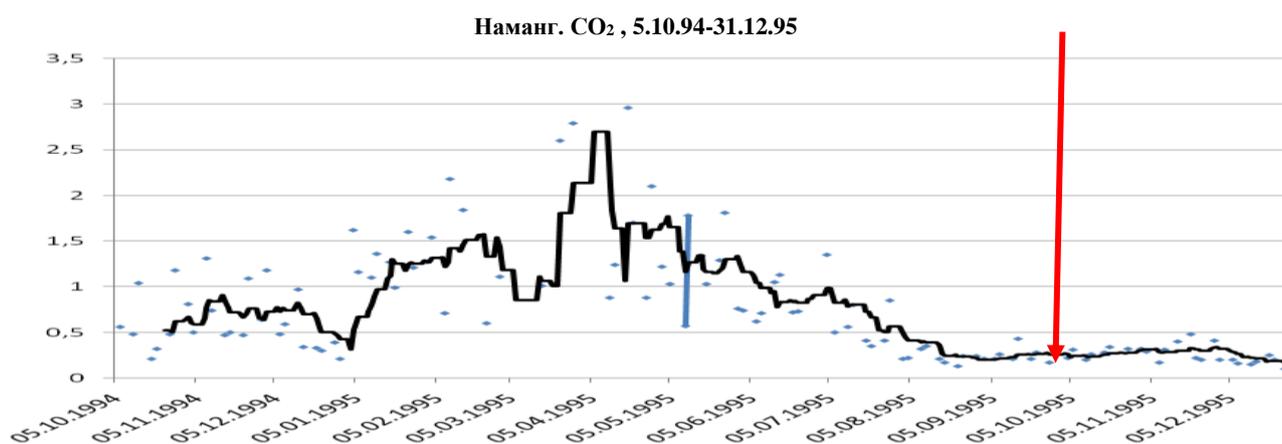
Таблица 2

№	Дата	M	R	M/lgR	V	Название земл-й
1	27.01.2007	5.3	65	2.92	0.002	Поп
2	17.02.1984	5.5	65	3.03	0.003	Поп
3	17.02.2013	5.2	50	3.06	0.006	Косонсой
4	19.08.1992	7.5	210	3.23	0.009	Сусамир
5	8.10.1995	5.3	10	5.3	0.013	Учкурган

Хорошо видно наличие прямой корреляционной связи между амплитудой изменения концентрации углекислого газа, т.е. скоростью его изменения и величиной $M/\lg R$ (рис. 4).

Это говорит о том, что проявленные аномалии CO_2 подземных вод, в перспективе, могут использоваться не только как качественные, но и как количественные характеристики интенсивности землетрясений.

С помощью линейного соотношения между скоростью изменения концентрации углекислого газа и величиной $M/\lg R$ можно вычислить, при определенной зафиксированной скорости, приблизительное расстояние предстоящего эпицентра землетрясения. Например, при условии, что по углекислому газу наблюдается аномальное проявление, т.е. имеется четкий положительный экстремум на стадии спада от максимума. Если после нескольких дней тенденция спада не меняется, то возможно вычислить начальную скорость (v_1) изменения концентрации CO_2 для данного отрезка времени (Рис. 5).

Рис. 5. Пример вычисления скорости изменения концентрации CO_2 для конкретного землетрясения

Для V_1 по уравнению:

$$V = 0.0028 M/\lg R - 0.0018 \quad (3)$$

можно определить величину $M/\lg R$.

Теперь, если для M (магнитуды) зададим несколько значений, то для них получим соответствующие расстояния (R), т.е.:

$$R = 10^{0.0028M/V+0.0018} \quad (4)$$

При заданных:

$$M = 4, R_1 = 10^{0.012/V+0.0018}, (V_1=0.01, R_1 = 10 \text{ км}),$$

$$M = 5, R_2 = 10^{0.014/V+0.0018}, (V_1=0.01, R_2 = 15.8 \text{ км})$$

$$M = 6, R_3 = 10^{0.017/V+0.0018}, (V_1=0.01, R_3 = 25 \text{ км}).$$

Выводы.

1. По ходу изменения концентрации CO_2 со временем ежедневно надо уточнять скорость изменения концентрации и корректировать значения R .

2. Получено с определенной вероятностью выражение $R = 10^{0.0028M/V+0.0018}$ для определения места расположения будущего возможного очага землетрясения на расстоянии R , на примере скважины Наманган (станции Чартак).

Литература:

1. Зимина Г. Предвестники землетрясений. bestreferat.ru/referat-22906.html. 2002.
2. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре. Геофизические и тектонические аспекты // М.: Наука. 2009. 328 с.
3. Копылова Г.Н. О связи режима подземных вод с сейсмичностью и деформациями земной коры на стадиях подго-

- товки сильных землетрясений // Разведка и охрана недр. 2008. № 7. С. 37-45.
4. Мавлянов Г.А., Касимов Х.К., Султанходжаев А.Н. и др. Гидрогеохимические особенности подземных вод некоторых сейсмоактивных районов Узбекистана. Т.: Фан, 1973. 95 с.
 5. Моргунов В.А. Реальности прогноза землетрясений // Физика Земли. 1999. №1. С. 79-91.
 6. Нурматов У.А., Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю., Юсупджанова У.А. Связь особенностей проявления гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений с сейсмотектонической обстановкой // Геология и минеральные ресурсы. Ташкент: Фан, 2016. №2. С. 38-44.
 7. Руденко О.П., Дружинин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11. 1993 г., $M = 7.0$ // Докл. РАН. 1996. Т. 348. №6. С. 814-816.
 8. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния // ДАН СССР. 1979. Т. 245. №4. С. 825-828.
 9. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
 10. Султанходжаев А.Н. Основы гидрогеосейсмологии. Ташкент. 2006. 164 с.
 11. Султанходжаев А.Н. и др. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений. Ташкент: ФАН, 1983. 127 с.
 12. Уломов В.И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений. Информационное сообщение АН РУз, 1977. № 186, 11с.
 13. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. Петропавловск-Камчатский. 2004. С. 96-112.
 14. Чернов И.Г., Юсупов Ш.С. и др. Изучение вариаций изотопного и газового составов подземных вод Приташкентского артезианского бассейна в связи с сейсмичностью// Экологический вестник Узбекистана. №4(180). Ташкент. 2016. С. 32-34.
 15. Чернявский Е.А. К вопросу о методике вывода суточного хода атмосферно-электрического потенциала// Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству. М.: Гидрометеиздат, 1937. С. 82-86.
 16. Шулейкин В.Н. Атмосферное электричество и физика Земли. М: Инс-т проблем нефти и газа РАН. 2006. 159 с.
 17. Юсупов Ш.С., Нурматов У.А., Шин Л.Ю. и др. Аномальные вариации гидрогеосейсмологических параметров в период возникновения Туябугизского и Маржонбулакского землетрясений 25 и 26 мая 2013 г.// ДАН РУз. № 6. Ташкент. 2014. С. 38-41.
 18. Kondo G. The variation of the atmospheric electric field at the time of earthquake// Kakioka Magnet. Observ.Mem. 1968. V.13. N1. PP.11-23.
 19. Outkin V.I., Yurkov A.K., Krivashev S.V., Chi-Yu King. Radon behavior in connection with rock bumps (shocks) in deep mines and tectonic earthquakes.Yekaterindurg: RAS Ural's Branch. Institute of Geophysics. 1997. 17 p.
 20. Лагутин Е.И., Мамбеталиева Ш.М. Гидрогеохимические зоны гидросферы Кыргызстана. Журнал «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. Республиканский научно-теоретический журнал. № 3, Б. 2018.- С. 192 - 196.

Рецензент: д.г.-м.н. Садыбакасов И.С.