



UDK 550.348.435:550.42:519.2(575.1)

Shuxrat YUSUPOV,
Toshkent davlat texnika universiteti, professori v.v.b, PhD
E-mail: Shuhrat-1951@mail.ru, Orcid 0000-0001-7259-028X
Nasiba NORMATOVA,
Toshkent davlat texnika universiteti dotsenti
E-mail: normatovanasiba79@gmail.com, Orcid: 0000-0001-9926-2630,
Lyudmila SHIN,
Toshkent davlat texnika universiteti asistenti
Madina R. XASANOVA,
Toshkent davlat texnika universiteti asistenti
Adinaxasanova299@gmail.com

Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю. Норматова Н.Р., Хасанова М.Р., Ташкентский Государственный технический университет им. Ислама Каримова,
Ташкент, Узбекистан

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (информативность) АНОМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ
ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ**

Аннотация

В данной статье рассматривается значение гидрогеосейсмологических предвестников в прогнозировании землетрясений. Проанализированы аномальные изменения газохимических, изотопных и геофизических параметров подземных вод как важные индикаторы процессов подготовки сильных землетрясений. На основе многолетних наблюдений, проведенных в Узбекистан после Ташкентское землетрясение 1966 года, сформирована база гидрогеохимических данных. На примере параметра CO_2 выполнен статистический анализ и дана оценка эффективности данного метода в среднесрочном и краткосрочном прогнозировании землетрясений. Полученные результаты подтверждают, что гидрогеосейсмологический метод является одним из надежных подходов к прогнозу сильных землетрясений.

Ключевые слова: прогноз землетрясений, гидрогеосейсмология, подземные воды, предвестники, CO_2 , радон, геохимическая аномалия, сейсмическая активность.

**O‘ZBEKISTONDAGI ZILZILALARNING GIDROGEOSEISMOLOGIK PREKURSORLARINING ANOMAL
KO‘RINISHLARINING STATISTIK TAHLILI (axborot mazmuni)**

Аннотация

Ushbu maqolada zilzilalarni prognoz qilishda gidrogeoseysmologik predvestniklarning ahamiyati o'rganilgan. Yer osti suvlarining gaz-kimyoviy, izotop va geofizik parametrlarida kuzatiladigan anomal o'zgarishlar kuchli zilzilalarga tayyorgarlik jarayonlarining muhim belgisi sifatida tahlil qilingan. Toshkent zilzilasi 1966 yildan keyin O'zbekistonda olib borilgan ko'p yillik kuzatuvlar asosida gidrogeoximik ma'lumotlar banki shakllantirilgan. SO_2 parametri misolida statistik tahlil o'tkazilib, ushbu usulning o'rta va qisqa muddatli prognozda samaradorligi baholangan. Natijalar gidrogeoseysmologik usulning zilzilalarni oldindan baholashda ishonchli vositalardan biri ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: zilzila prognozi, gidrogeoseysmologiya, yer osti suvlari, predvestnik, SO_2 , radon, geokimyoviy anomaliya, seysmik faollik.

**STATISTICAL ANALYSIS (information content) OF ANOMALOUS MANIFESTATIONS OF
HYDROGEOSEISMOLOGICAL PRECURSORS OF EARTHQUAKES IN UZBEKISTAN**

Annotation

This article examines the role of hydrogeoseismological precursors in earthquake prediction. Anomalous changes in gas-geochemical, isotopic, and geophysical parameters of groundwater are analyzed as important indicators of the preparation process of strong earthquakes. Based on long-term observations conducted in Uzbekistan after the 1966 Tashkent earthquake, a hydrogeochemical database has been developed. Statistical analysis was carried out using CO_2 parameter data, and the effectiveness of this method for medium- and short-term earthquake forecasting was assessed. The results demonstrate that the hydrogeoseismological method is one of the reliable approaches for earthquake prediction.

Keywords: earthquake prediction, hydrogeoseismology, groundwater, precursor, CO_2 , radon, geochemical anomaly, seismic activity.

Введение. Многие годы наблюдений человека за планетой, на которой он живет, привели к мысли о том, что Земля – не мертвое, бездушное тело, а живой, развивающийся по своим законам, сложный организм. Незнание или игнорирование этих законов может привести к бунту "неживой" природы против человека и человечества. Причина катастрофических явлений во многих случаях – проявление той внутренней жизни нашей планеты, которая еще не до конца познана наукой.

Под прогнозом землетрясений понимают определение места, времени и силы (магнитуды) землетрясения. По времени прогноз подразделяется на долгосрочный (на десятилетия вперед), среднесрочный (до года вперед), краткосрочный (на дни до месяца вперед) и оперативный (на минуты–часы вперед).

Первый Международный симпозиум по прогнозу землетрясений, состоявшийся в Ташкенте в 1974 г. под эгидой Международной Ассоциации по Сейсмологии и Физике Недр Земли (МАСФНЗ) [1–4] и т.д.].

После ряда разрушительных землетрясений во многих странах мира - в Японии, США, КНР и в те годы еще не распавшемся СССР в первую очередь начались организационные работы по прогнозу землетрясений

Предвестники землетрясений.

К настоящему времени во всем мире насчитывается несколько сотен различных по своей природе предвестников землетрясений. Поэтому их комплексное использование позволит повысить надежность и эффективность прогнозных оценок.

Прогнозные работы в КНР были развернуты с необычайной широтой. Здесь было создано Центральное сейсмологическое бюро и провинциальные центры, куда должны были регулярно поступать сведения о всякого рода аномалиях в природе. Работа началась, опыт копился, несколько раз довольно удачно сейсмологи указывали места и примерное время землетрясений. И первая грандиозная удача о которой китайские сейсмологи подробно рассказали в 1976 году на Межправительственном совещании ЮНЕСКО – это предсказанное за несколько часов землетрясение 1975 года в городе Хайчен.

Анализированы результаты эмпирического соотношения между временами возникновения и местоположениями аномальных изменений уровней подземных вод, наблюдаемых перед Хайченским землетрясением; использованы данные 200 пунктов регистрации. Аномалии существовали с 10 октября 1974 года по 13 февраля 1975 года, на эпицентральных расстояниях 0–230 км. [5].

В 1966 г. во время подготовки и свершения Ташкентского землетрясения были зафиксированы изменения химических, газовых, изотопных и геофизических параметров, особенно растворенный газ радон в подземных водах. В результате, впервые в мире, выявлена научно-обоснованная закономерность изменения параметров подземных вод в связи с проявлением подготовки и свершения сильных землетрясений. И в 1967 году в Государственном комитете по делам открытий и изобретений бывшего СССР было зарегистрировано научное открытие под номером №129.

Именно Ташкентское землетрясение стало точкой отсчета начало исследований по поиску Гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений и особенностей их проявлений в Узбекистане.

Объектом наблюдения теперь стали подземные воды, а параметрами изучения являются: Rn , CO_2 , CH_4 , Ar , O_2 , N_2 , H_2 , He и др. газы; из химических элементов: K^+ , F^- , Cl^- , B^- , Ca^{2+} , Hg и др.; из геофизических параметров подземных вод: уровень и расход, давление, температура воды; соотношении изотопов элементов ($\delta^{13}C$, $^{40}Ar/^{36}Ar$, $^3He/^4He$, δD , $\delta^{18}O$) и др.. Научный анализ и систематизирование аномальных проявлений всех вышеперечисленных параметров в комплексе во время подготовки и свершения землетрясения на основе современного научного метода – это был новый подход в прогнозе землетрясений. Таким образом, в прогнозировании землетрясений геохимия подземных вод заняла свое место и вскоре была признана в мировом масштабе.

В 1975 году после успешного прогнозирования Китайскими учеными Хайченское землетрясение ($M=7,3$) (основными предвестниками были ГГС параметры), в 1978 году узбекскими учеными спрогнозировано Алайское землетрясение с точностью до 6 часов. После этих событий предсказано ещё несколько сильных землетрясений. Нововыявленный метод (ГГС) демонстрировал себя один из надежных среди других методов в средне- и краткосрочном прогнозах сильных землетрясений.

Основная цель – определить аномальные отклонения от фоновых значений предвестников в период режимных наблюдений, разработать методические рекомендации по ГГС исследованиям и их применение в практике прогноза землетрясений не только в Узбекистане, но и во всех Центрально-азиатских Сейсмологических учреждениях.

Многолетние наблюдения за предвестниками землетрясений с 1973 годов дали возможность в создании банка данных, который охватывает почти 45 летний период. Это результаты режимных наблюдений за ГГС параметрами подземных вод и геомагнитными параметрами Земли. Выявлен ряд особенностей и закономерностей поведения ГГС параметров подземных вод, предшествующий и сопутствующий землетрясению. Эти работы оформлены в виде монографий, отчетов, диссертаций, статей и тезисов научных конференции различного ранга [7].

Основная часть.

Оценка информативности гидрогеосейсмологического предвестника землетрясения. Для оценки информативности рассматривались предвестников данные об их проявлении по различным видам наблюдений были систематизированы и выполнен анализ связи между числом предвестников, временем их проявления и параметрами землетрясений: магнитудой M и величиной отношения $M/\lg R$. Величина $M/\lg R$ применяется в качестве параметра, характеризующего интенсивность процессов подготовки землетрясений с учетом удаленности соответствующих очагов от наблюдательного пункта. Был использован алгоритм, разработанный в ИФЗ РАН [8,9] и применяемый до сегодняшнего дня. По этому алгоритму рассматриваемый предвестник характеризуется тройкой чисел:

$$m/n; \Sigma \tau / T; \Phi(\xi) \quad (1)$$

где: n - число свершившихся землетрясений в области наблюдений;

m - число предсказанных землетрясений;

T - период наблюдений;

$\Sigma \tau$ - суммарное время всех интервалов тревог за время наблюдений T .

В приведенной тройке чисел первое дает процент успешно спрогнозированных землетрясений; второе - процент тревожного времени, равносильный проценту землетрясений, которые можно спрогнозировать абсолютно случайным образом; третье означает вероятность того, насколько значимо различие m/n и $\Sigma \tau / T$ выявленных связей по формулам

$$\Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-t^2/2} dt, \quad \text{где} \quad \xi = \frac{m/n - \tau/T}{\left[\frac{1}{n} \tau/T (1 - \tau/T) \right]^{1/2}} \quad (2)$$

При оценке статистической значимости предвестника с сейсмической активностью мы рассматриваем три градации:

- $\Phi(\xi) < 0,7$ - связь отсутствует;
- $0,7 < \Phi(\xi) < 0,9$ - связь не достаточно значимая;
- $\Phi(\xi) > 0,9$ - связь значимая.

Кроме тройки чисел, определяемых алгоритмом, введен еще один параметр: q - мера информативности данного предвестника, отражающая количественно статистическую значимость связи данного предвестника с землетрясением

$$q = \frac{1}{4} \ln \left[\frac{m/n(1-\tau/T)}{\tau/T(1-m/n)} \right] \quad (3)$$

Согласно алгоритму, предвестник можно считать полезным, если $q > 0,1$ - 0,2. Если $q > 0,3$ - 0,5, то предвестник следует рассматривать как весьма полезный, а в случае $q < 0,05$ использование данного предвестника не приведет к заметному улучшению прогноза.

В таблице 1 видно, что около 75% наблюдательных пунктов имеют относительно короткое время тревог $< 30\%$ и 70% объектов наблюдения имеют сравнительно прогностическую способность $> 70\%$ эффективности. Такой результат можно считать удовлетворительным.

Таблица 1. Оценка связи между проявлениями содержания CO_2 по скважинам на КПС Ташкент, Чартак, Чимион и Хаватаг с землетрясениями с $M/lGR \geq 2,5$ 1982–2014 гг.

Пункты наблюдений	Шурчи			Чартак			Чимион скв. НР-1	Хаватаг скв. 745	Ташкент		
	скв. 5	скв. 7	скв. 8	скв. 2	скв. 6	скв. Наманг			Бий	Текстиль	Назарбек
период наблюд. годы	1993-2015	1999-2010	1988-2012	1982-2013	1988-2014	1983-2013	1982-2011	1988-2004	1983-2011	1999-2014	2002-2014
n	16	11	13	21	16	20	18	7	12	7	7
m	12	8	10	17	9	15	7	6	10	6	5
m/n	0,75	0,72	0,77	0,81	0,56	0,75	0,389	0,857	0,83	0,86	0,74
$T(\text{мес})$	374	144	289	384	300	360	360	198	347	172	142
$\Sigma\tau(\text{мес})$	68,5	19	129	173	62	95,5	74,3	74	55	31,2	42
$\Sigma\tau/T$	0,183	0,132	0,444	0,45	0,207	0,27	0,206	0,374	0,159	0,181	0,296
q	0,648	0,72	0,36	0,41	0,399	0,53	0,22	0,577	0,82	0,825	0,449
$\Phi(\xi)$	0,999	0,999	0,978	0,998	0,998	0,999	0,928	0,990	0,999	0,999	0,988

Статистическая обработка экспериментального материала за 1976-2014 гг. позволила определить средние значения CO_2 , соответственно, для подземных вод всех источников и скважин, которые были под наблюдением. При ретроспективном анализе эти средние значения распространены на весь цикл наблюдений. Там же, на графиках проведены линии среднеквадратичного отклонения, позволяющие более точно получить цифровые значения для T , τ и, соответственно, оценить величину m .

Оценивая полученные расчеты можно считать, что результаты по данным 56% - 86% предсказанных землетрясений, при сравнительно небольшом времени тревог от 15,9% до 27%, подтверждены высоким значением значимости $\Phi(\xi) = 0,996$, рассчитанным m/n и τ/T , содержат в себе некоторые подгонки, свойственные ретроспективному анализу. Даже во всех случаях намеренного ухудшения значений, входящих в m/n , τ/T , величина q всегда больше 0,1, что дает основание считать данный предвестник полезным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уломов В.И., Мавашев Б.З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения. // ДАН СССР. 1967, т.176, № 2, с.35-37.
2. Поиски предвестников землетрясений. Отв. ред. Е.Ф. Саваренский, В.И. Уломов. // Международный симпозиум 27 мая – 3 июня 1974 г. Ташкент: ФАН Узб. ССР. 1974, 264 с.
3. Зубков С.И. Предвестники землетрясений. // М.:ОИФЗ РАН. 2002, 140 с.
4. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. // М.: Наука, 2006, 254 с.
5. Яковлев В.Н. Результат наклономерических наблюдений в Ташкенте в период повторных толчков. В кн. "Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года". 1971, ФАН, стр. 176-182.
6. Уломов В.И., Мавашев Б.З. Предвестники Ташкентского землетрясения. В кн. "Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года". 1971, ФАН, стр. 188-192.
7. Султанходжаев А.Н. Основы гидрогеосейсмологии. Ташкент, 2006, 151 с.
8. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. О зависимости времени подготовки землетрясения от его энергии. ДАН СССР, 1983, т.271, N2, стр. 330-333.
9. Ибрагимов Т.Л., Азизов Г.Ю. Информативность комплекса гидрогеохимических предвестников подземных вод в различных геодинамических условиях. Проблемы сейсмологии в Узбекистане - №9, 2012. стр. 60-64.