

УДК 556.3+550.34

Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, г. Ташкент

ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Yusupov Sh.S., Shin L.Yu.

O'zR FA Seysmologiya instituti, Toshkent sh., O'zbekiston Respublikasi

ZILZILALARNING GIDROGEOSEYSMOLOGIK DARAKCHILARI

Annotatsiya. O'zbekistonning Toshkent geodinamik poligonidagi ko'p yillik gidrogeoseysmologik (GGS) tadqiqot natijalari taqdim etilgan. Toshkent geodinamik poligonida kuchli zilzilalarning tayyorlanish davrida GGS parametrlari bo'yicha bir qancha ijobiy natijalar olingan. Zilzilaoldi GGS anomaliyalarning namoyon bo'lish sabablarini tushuntirishga harakat qilingan. Yer osti suvlaridagi kimyoviy, gaz va boshqa gidrogeofizik parametrlardagi anomal o'zgarishlar tahlil qilinib, kelib chiqish sabablariga baho berilgan.

Kalitli so'zlar: gidrogeoseysmologiya, magnituda, darakchi, poligon, mikrokomponentlar, gidrogeokimyo.

Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова, Ташкент

ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Аннотация. Представлены результаты многолетних гидрогеосейсмологических (ГГС) исследований для прогноза сейсмической опасности на Ташкентском геодинамическом полигоне. Получены некоторые положительные результаты ГГС параметров во время подготовки сильных землетрясений на Ташкентском геодинамическом полигоне. Сделана попытка объяснения причин ГГС аномалий перед свершением Туябугузского (25.05.2013, $M=5.6$, $R=70$ км) и Маржанбулакского (26.05.2013, $M=6.2$, $R=200$ км) землетрясений. Анализированы и оценены причины аномальных проявлений газо-химических и гидрогеофизических параметров подземных вод.

Ключевые слова: гидрогеосейсмология, магнитуда, предвестник, полигон, микрокомпоненты, макрокомпоненты, гидрогеохимия.

Yusupov Sh.S., Shin L.Yu.

Institute of Seismology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent.

HYDROGEOSEISMOLOGICAL EARTHQUAKE PRECURSOR

Annotation. The results of long-term hydrogeoseismological (HGS) studies for predicting seismic hazard at the Tashkent geodynamic test site are presented. Some positive results of the HGS parameters were obtained during the preparation of strong earthquakes at the Tashkent geodynamic test site. An attempt has been made to explain the causes of the GHS anomaly before earthquakes. The reasons for the abnormal manifestation of the HGS of the parameters of gas-chemical and hydrogeophysical parameters of groundwater are analyzed and evaluated.

Key words: hydrogeoseismology, magnitude, precursor, poligon, microcomponents, macrocomponents, hydrogeochemistry.

Введение. Аномальные изменения газо-химического, изотопного и гидрогеофизического состава подземных вод перед сильными землетрясениями, называются гидрогеосейсмологическими предвестниками (далее ГГСП). Полагается, что ГГСП могут использоваться для решения задач прогнозирования землетрясений, в первую очередь, для оценки времени и места сильных землетрясений.

ГГСП являются одной из составляющих более общего понятия «геохимические предвестники», объединяющего совокупность аномальных изменений химического, газового состава и др. подземной гидросферы в процессе подготовки землетрясений. Кроме этого, ГГСП относятся к классу гидрогеологических предвестников землетрясений, отражающих изменения физико-химических параметров подземных вод вследствие процессов подготовки землетрясений. Для обнаружения ГГСП проводятся режимные наблюдения на самоизливающихся скважинах и источниках за показателями макро-, и микрокомпонентного состава подземной воды и газов. Газы, содержащиеся в подземных водах, могут находиться в растворенном и в свободном состоянии. Такие особенности ГГСП, как объекта научного исследования, предполагают их изучение на основе комплекса наук о подземной гидросфере (гидрогеологии, гидрогеодинамики,

гидрогеохимии), наук химического направления, главным образом, аналитической химии, и с привлечением сейсмологии, региональной геологии, тектоники, геодинамики и др.

Традиционным методом гидрогеохимических наблюдений является отбор проб воды и газа на самоизливающихся скважинах и источниках с последующим выполнением химического анализа состава воды и газа в лабораторных условиях. Периодичность гидрогеохимических наблюдений, обычно, составляет от одних до нескольких суток. В результате таких трудоемких мероприятий формируются временные ряды различных гидрогеохимических показателей, которые анализируются в сопоставлении с сильными землетрясениями ($M \geq 4.5$). Определенные трудности в выделении ГГСП связаны с влиянием различных природных и техногенных факторов на режим водопроявлений, с условиями пробоотбора, особенностями химического анализа отдельных компонентов состава подземных вод и газа, а также с возможным наложением эффектов динамического воздействия деформационных волн на ГГСП, и др.

Таким образом, задача изучения процессов образования ГГСП и закономерностей их проявления в целях использования для прогноза времени и места сильных землетрясений является комплексной и сложной. В основе ее решения лежат достоверные данные о проявлениях ГГСП в режиме подземных вод сейсмоактивных регионов, различающихся геолого-тектоническим строением, сейсмическими и гидрогеологическими условиями. По совокупности данных о ГГСП оценивается связь их проявления с параметрами будущих землетрясений и механизмы формирования в природных водоносных системах и в системах «скважина(родник) – водовмещающая порода».

Изучение ГГСП в изменениях газо-химического состава подземных вод в Узбекистане проводятся более 60-ти лет и являются пионерскими в мире, начиная с работы Г.А.Мавлянова, А.Н.Султанходжаева, В.И.Уломова и др. которое привело к научному открытию №129 (1973 г.). Определяющий вклад в изучение ГГСП в Узбекистане внесли сотрудники Института сейсмологии академик А.Н.Султанходжаев, д.г.-м.н. Г.Ю.Азизов, к.г.-м.н. Ф.Г.Зиган, к.г.-м.н. С.У.Латипов, к.г.-м.н. Л.А.Хасанова, к.г.-м.н. И.Г.Чернов, к.г.-м.н. Т.Закиров и др. В настоящее время изучение ГГСП проводится под руководством д.г.-м.н. Ш.С.Юсупова, с использованием данных гидрогеохимических наблюдений в сети прогностических станций сейсмоактивных зон Узбекистана.

В настоящей работе представлены данные о ГГСП по результатам многолетних наблюдений на источнике Озодбаш Ташкентского геодинамического полигона [1,2]. Рассматриваются закономерности проявления ГГСП в связи с сильными землетрясениями и процессы их формирования на основе модели механического смешивания контрастных по химическому и газовому составу вод в зонах повышенной водопроницаемости [3-6] и физико-химического анализа взаимодействия в системе «вода – порода» [7, 8].

Данные результатов наблюдений на источнике Озодбаш (координаты 41.54° с.ш., 69.63° в.д.) с августа 2010 по ноябрь 2013 года показаны на рисунке 1. Они соответствуют периоду двух сильных землетрясений: Туябугузского 25.05.2013 года с $M=5.6$, произошедшего на эпицентральной расстоянии $d_e=70$ км от источника Озодбаш [1], и Маржанбулакского землетрясения, произошедшего 26 мая 2013 г. с $M=6.2$, $d_e=200$ км [2]. В рис.1 видно, что на одну аномалию произошло два сильных землетрясения.

У этих землетрясений величина M/LgR имела значение больше 2.5 ($M=3.04$ и 2.7 соответственно, где M – магнитуда, R – эпицентральной расстояние землетрясений). Величина M/LgR , применяется в качестве параметра, характеризующего интенсивность процессов подготовки землетрясений с учетом удаленности соответствующих очагов от наблюдательного пункта [9]. Для Центральной Азии практика показывает, что землетрясения, имеющие значение (M/LgR) больше или равно 2.5, можно рассматривать как входящие в зону чувствительности данного наблюдательного пункта, проводящего гидрогеосейсмологические исследования [10].

Содержание ГГСП в подземных водах тесно связано с состоянием деформационных процессов в водовмещающих породах в период активного трещинообразования при подготовке землетрясений. Как видно, механизм образования аномалий скорее отражает сложность быстропротекающих тектонических процессов в земной коре непосредственно перед землетрясением, но не дает окончательного ответа о природе этих аномалий. Если аномалия появлялась перед землетрясением два раза [11], то рассматривалась только первая аномалия, как фиксирующая момент попадания пункта наблюдения в зону пространственно-временного влияния

(чувствительность) очага готовящегося землетрясения. По мнению авторов [12], если аномалия наблюдалась перед двумя землетрясениями с близкорасположенными очагами, и второе землетрясение, имевшее большую энергию, происходило через несколько часов после первого, то в качестве репера бралось первое землетрясение, как указывающее в некотором приближении на окончание заключительной стадии подготовки этих землетрясений. В нашем случае эпицентральные расстояния двух очагов (Туябугузский и Маржанбулакский) различные, т.е. 70 км и 200 км, и разность по времени свершения землетрясений составляет ~29 часов. Поэтому мы с уверенностью можем брать первое и близкое землетрясение, как основного виновника зафиксированных аномалий.

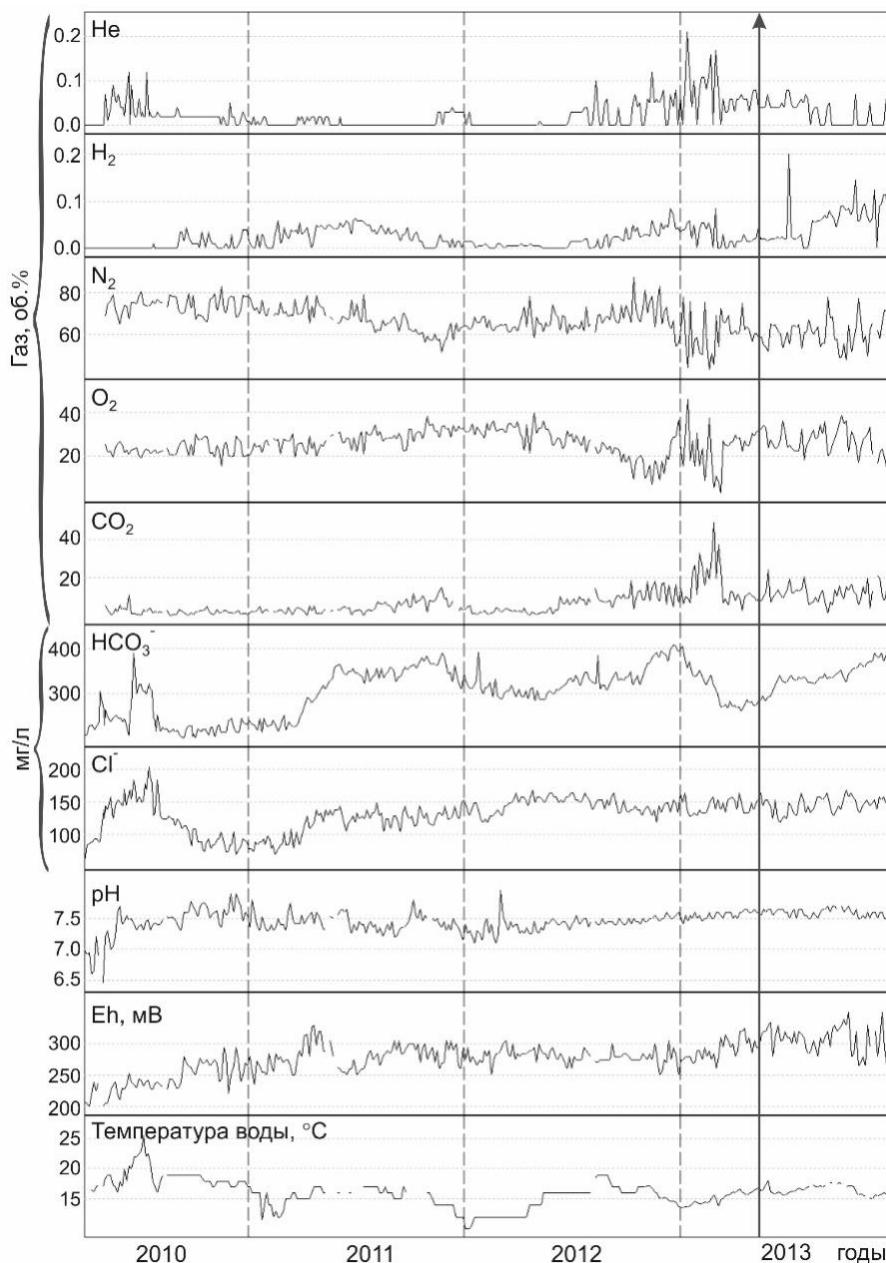


Рис. 1. Изменения ГГС параметров источника Озодбаш в 2010 – 2013 гг. в период землетрясений (показано вертикальной стрелкой).

Источник Озодбаш расположен на территории Приташкентского артезианского бассейна в пределах Каржантауской разломной зоны. Его разгрузка осуществляется за счет подземных вод из палеозойских отложений. Дебит источника 5 л/мин., температура воды – $17 \div 19^\circ\text{C}$, минерализация воды $0.7 \div 1,0$ г/л. Периодичность наблюдений составляла два раза в неделю.

Определение концентраций иона хлора и гидрокарбонат-иона в воде проводились традиционными методами. Состав газа определялся хроматографическим методом.

В изменениях гидрогеохимических параметров воды источника Озодбаш, главным образом, в газовом составе, были обнаружены яркие проявления ГГСП в течение примерно девяти месяцев перед землетрясением 25 мая 2013 г. Длительности аномалий по различным параметрам, выделенным по превышениям концентраций их фоновых величин за многолетний период, изменялись от 55 до 160 сут. при величинах экстремальных значений $150 \div 800\%$ [2]. В указанной работе отмечается, что аналогичные изменения параметров подземных вод прослеживались также в других наблюдательных скважинах, вскрывающих воды в верхнемеловых и четвертичных отложениях (скв. Чаткал, Минора и ДАН). В этих скважинах наблюдаются примерно такие же аномальные проявления ГГС параметров. Эти скважины расположены также на Каржантауской разломной зоне в радиусе 20-30 км.

Это показывает, что на стадии подготовки землетрясений в мае 2013 г. происходили изменения гидрогеохимического режима в пределах всей водоносной толщи Приташкентского артезианского бассейна.

Авторы [2] отмечают, что ГГСП в изменениях газового состава связаны с увеличением доли газов He , H_2 , CO_2 , поступающих из изолированных пор в водовмещающих породах при их деформации в процессе подготовки землетрясений. Кроме этого, увеличение поступления водорода в водоносную систему источника сопровождалось ростом водородного показателя pH от 7.1 до 7.6, нарушением карбонатного равновесия и изменениями окислительных процессов в подземной воде.

В [1] рассмотрены сейсмотектонические условия районов гидрогеохимических наблюдений на территории Ташкентского геодинамического полигона и возможная связь проявлений ГГСП перед землетрясениями 25 и 26 мая 2013 г. с разломно-блоковой структурой. При этом отмечалась слабая степень изученности этого вопроса.

Отметим, что приведенные данные о ГГСП перед землетрясениями 25 и 26 мая 2013 г. ($M = 5.6 - 6.2$, $d_e = 70-200$ км) в целом согласуются с зависимостью проявления ГГСП от соотношения величин магнитуды и эпицентрального расстояния землетрясений, полученной для Камчатских землетрясений (Россия) [13-15].

Процессы формирования ГГСП. Данные наблюдений ГГСП показывают, что на стадиях подготовки сильных землетрясений происходит перераспределение макрокомпонентного состава воды и газа. Это дает основание полагать, что ведущими процессами при формировании ГГСП являются: изменение условий смешивания различных по газо-химическому составу в зонах повышенной водопроницаемости и изменение физико-химического взаимодействия в системе «вода – порода» при деформации водовмещающей породы и развитии в ней трещинной дилатансии [4,5,6,8].

В работах [3,6], на примерах показано, что применение математической модели смешивания двух контрастных по минерализации вод в зоне повышенной водопроницаемости позволяет описывать не только эффекты воздействия сейсмических волн в изменениях дебита и концентраций макрокомпонентов в составе подземной воды, но и последовательное проявление ГГСП и постсейсмических изменений в составе растворенных минеральных компонентов. При этом модель водоносной системы принималась в виде среды с двойной пористостью, в которой основной поток воды перемещается по взаимосвязанным трещинам. Трещины разделяют слабопроницаемые блоки, в пустотах которых содержится вода с повышенной минерализацией и другим составом макрокомпонентов.

Выводы. С использованием моделирования изменений макрокомпонентного состава воды в скважинах были оценены составы смешивающихся вод на стадии подготовки землетрясения и тенденции в изменении химсостава подземной воды при воздействии напряжения на горную породу. В результате сейсмических сотрясений в смешанной воде происходило относительно кратковременное увеличение доли воды из “трещин”. При этом наблюдалось относительное (по сравнению с модельным поведением макрокомпонентов при проявлении ГГСП) изменение концентрации гидрокарбонат-иона, хлора и др..

Приведенные результаты, а также разнообразие технических условий и гидрогеологических обстановок формирования химического состава подземных вод в сейсмоактивных регионах требуют совершенствования метода гидрогеохимических наблюдений, направленных на поиск

ГГСП. Для этого необходимо внедрять в практику сейсмопрогностических работ автоматизированные системы регистрации концентраций отдельных компонентов и интегральных показателей химического состава воды, таких как температура, давление, дебит расхода воды, электропроводность, pH, Eh, с периодичностью не реже одного измерения в час.

Конечно, этого достичь очень трудно, но со временем большинство параметров перейдет на автоматический режим измерения. Кроме того, для изучения механизма или природы аномальных вариаций необходимо проводить изотопные исследования ряда элементов в подземных водах (He, H₂, O₂, N₂, CO₂, Ar, SO₂ и др.). Выяснить генетическую принадлежность проявленных аномальных вариаций этих элементов во время подготовки и свершения сильных землетрясений.

Литература

1. Нурматов У.А., Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю., Юсупджанова У.А. Связь особенностей проявления гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений с сеймотектонической обстановкой. Геология и минеральные ресурсы. 2016. № 2. С. 38-43.
2. Юсупов Ш.С., Нурматов У.А., Шин Л.Ю. и др. Аномальные вариации гидрогеосейсмологических параметров в период возникновения Туябугузского и Маржанбулакского землетрясений 25 и 26 мая 2013г. Докл АН РУз: 2014. №6. С. 38-40.
3. Копылова Г.Н., Воропаев П.В. Процессы формирования постсейсмических аномалий химического состава термоминеральных вод. Вулканология и сейсмология. 2006. №5. С. 42-48.
4. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Аномальные изменения химического состава подземных вод в связи с Камчатским землетрясением 02.03.1992 г. ($M_w=6.9$). Геофизические исследования. 2012. Т.13. №1. С.39-49.
5. Kopylova G., Boldina S. Anomalies in Groundwater Composition Caused by Earthquakes: Examples and Modeling Issues E3S Web of Conferences 98, 01029 (2019), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199801029> WRI-16.
6. Wang R., Woith H., Milkereit C., Zschau J. Modelins of hydrogeochemical anomalies induced by distant eaithquakes. Geophys. J. Int. 2004. V. 157. P. 717-726.
7. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 368 с.
8. Копылова Г.Н., Гусева Н.В, Копылова Ю.Г., Болдина С.В. Химический состав подземных вод режимных водопроявлений Петропавловского геодинамического полигона, Камчатка: типизация и эффекты сильных землетрясений. Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 43-62. DOI:10. 1134/S0203030618040041.
9. Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н. Среднесрочные предвестники сильных ($M \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987-2007гг.:ретроспективная оценка их информативности для прогноза. Вулканология и сейсмология. 2010. № 4. С. 3-12.
10. Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю. Зона чувствительности гидрогеосейсмологического предвестника землетрясении (углекислый газ). Геология и минеральные ресурсы. №6, Ташкент, 2016. С. 53-56.
11. Руденко О.П., Дружин 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. Т.348. №6. 1996. С. 814-816.
12. 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.
13. Копылова Г.Н., Суғробов В.М., Хаткевич Ю.М. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений. Вулканология и сейсмология. 1994. №2. С. 53-37.
14. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке: 1977 – 2017 гг. Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. С. 3-20.
15. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 96-112.