

УДК 551.243+551.2

Кендирбаева Дж.Ж.,
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КЫРГЫЗСТАНА В ПЕРИОДЫ АФТЕРШОКОВ САРЫЖАЗСКОГО (КОКПАКСКОГО) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Аннотация. Проанализированы особенности режима временных рядов подземных вод Северного Кыргызстана в «скользящем окне» 365 и более суток, выявленные по коэффициентам корреляции для хлора и кальция, магния и гидрокарбонатов, карбонатов и углекислого газа, а также каждого из них с величиной рН и температурой в «скользящем окне» 365 и более суток (в качестве примера послужили Сарыжазское землетрясение и его афтершоковая деятельность).

Выход этих параметров за усреднённые концентрационные пределы ($\pm 2\delta$) представлен как показатель приближающегося сейсмического события, т.е. уровень при значениях выше или ниже независимо от эпицентрального расстояния до пункта наблюдений.

Ключевые слова: термоминеральные воды, газо-химический состав, многолетний разрез, эндогенные растворы, эпицентры землетрясений, статистический анализ, коэффициенты вариации и корреляции, афтершоки Сарыжазского землетрясения, временные ряды, предвестниковые признаки.

САРЫ-ЖАЗ (КОКПАК) ЖЕР ТИТИРӨӨСҮНҮН АФТЕРШОКТОР МЕЗГИЛИНДЕГИ КЫРГЫЗСТАНДЫН ЖЕР АЛДЫНДАГЫ СУУЛАРЫНЫН УБАКЫТ КАТАРЫНЫН РЕЖИМИНИН ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

Кыскача мазмуну. Түндүк Кыргызстандын жер алдындагы сууларынын 365 жана андан көп суткалардын «жылышуучу терезедеги» хлор жана кальций, магний жана гидрокарбонаттар, карбонаттар жана көмүр кычкыл газы үчүн тууралоо коэффициенттери боюнча аныкталган, ошондой эле алардын ар биринин рН чоңдугу менен, 365 жана андан көп суткалардын «жылышуучу терезесинде» (мисал катары Сары-Жаз жер титирөөсү жана анын афтершок ишмердиги кызмат кылган) убакыт катарынын режиминин өзгөчөлүктөрү талдоого алынган.

Орточо алынган концентрацияланган чектер үчүн ($\pm 2\delta$) ушул параметрлердин чыгышы жакындап келе жаткан сейсмикалык окуянын көрсөткүчү катары, б.а. байкоо пункттарына чейинки эпиборбордук аралыктардан көз карандысыз жогору же төмөн маанилеринин деңгээли катары көрсөтүлгөн.

Негизги сөздөр: термоминералдык суулар, газ-химиялык курам, көп жылдык кесилиш, эндогендик эритиндилер, жер титирөөлөрдүн эпиборборлору, статистикалык талдоо жүргүзүү, вариация жана корреляция коэффициенттери, Сары-Жаз жер титирөөсүнүн афтершоктору, убакыт катарлары, боло тургандыгынын белгилери.

BEHAVIOR FEATURES OF TEMPORARY RAWs OF GROUND WATERS OF THE KYRGYZSTAN DURING AFTERSHOK ACTIVITY OF THE SARY-DJAZ (KOKPAK) EARTHQUAKE

Abstract. The behavior features of temporary raws of ground waters in Northern Kyrgyzstan within «running window» of 365 and more days, revealed according to the

correlation coefficients for chlorine and calcium, magnesium and hydrocarbonates, carbonates and carbon dioxide, as well as each of them with the pH and temperature in the «running window» of 365 and more days (as an example of Sary-Djaz earthquake and its aftershock activity).

These parameters overrunning for the averaged concentration limits ($\pm 2\delta$) is presented as an indicator of the possible seismic event, otherwise the level is higher or lower, regardless of the epicentral distance to the observation point.

Keywords: thermomineral waters, gaseous chemical composition, long-term section, endogenous solutions, earthquake epicenters, statistical analysis, variation and correlation coefficients, Sary-Djaz earthquake aftershocks, temporary raws, precursoring indicators.

Термоминеральные воды (ТМВ) Северного Кыргызстана - один из уникальных компонентов природной среды, несмотря на то, что они находятся в непрерывном движении во всех направлениях, содержат газо-химические составляющие, которые в многолетнем разрезе изменяются в узких пределах. На отдельных участках присутствие некоторых из них является закономерным явлением, благодаря чему в исследованиях, направленных на решение задач сейсмологии, отдают предпочтение их способности объективно отражать современную геодинамическую обстановку.

Землетрясения средней силы в [2] рассматриваются как результаты воздействия деформационных волн на современные зоны деструкции литосферы, в которых интервал между событиями исчисляется по шкале реального времени, что по отношению к геологической эволюции межструктурных единиц - мгновение. В результате изменения деформационно-напряжённого состояния земной коры происходит как раскрытие ранее залеченных трещин, так и образуются новые микропоры. Об этом показано по результатам экспериментов [8], проведённых для объяснения механизма возникновения кратковременных и долговременных геохимических аномалий. Ими обоснованы особенности стационарного и нестационарного эманирования горных пород с установленным кларковым содержанием радиоактивных элементов, например, гранодиоритов, порфиритов и фельзитов, а также образцы урановой смолки с повышенными радиоактивными свойствами.

Результирующим этих исследований является выявление по концентрации радона закономерной связи между эманирующей способностью пород и размером контактирующих частиц, а именно, чем мельче размеры образца, тем больше радона попадает в воду. На этом основании они заключили, что в периоды сейсмической активизации долговременные радоновые (газовые) аномалии в подземных водах возможны из трещин в кристаллических породах, тогда как таковые в осадочных образованиях маловероятны.

В то же время, экспериментальными работами ИФЗ АН СССР [8] выявлено, что при воздействии вибрационных источников в пределах звуковых частот от 5 до 50 Гц, давления - от 1 до 10 Па и плотности потока энергии в 0.1 Вт/м^2 происходит изменение уровня подземных вод в скважинах глубиной 123-321 м, различное в зависимости от расстояния и состава водовмещающих пород. Также обнаружено увеличение метана и его гомологов в почвенном воздухе, превышающее фоновые значения в 2-10 раз. Эти вариации связывают с механико-химическими процессами, происходящими при деструкции пород под воздействием звуковых колебаний за счёт процессов сорбции-десорбции.

Поэтому перед нами возникла необходимость оценить эпицентральное расстояние как контрольный фактор сейсмического процесса и его составляющих, локализирующих очаги землетрясений, где горная порода представляет собой твёрдое тело, неоднородно пронизанное разного рода микротрещинами и зияющими нарушениями, а ТМВ - среда, находящаяся в непрерывном движении во всех направлениях.

Как свидетельствуют данные гидрогеохимического опробования, полученные в процессе бурения глубоких скважин в Северном Тянь-Шане, состав газов по вертикальному разрезу достаточно однообразен при концентрационных уровнях, индифферентных к типам водопунктов (источники, скважины) и стратиграфо-литологическим разностям вмещающих образований, а также глубинам циркуляции. Так, в них при содержании свободного азота более 90 об.% максимальные концентрации радона обнаружены как в родниках, так и в скважинах ТМВ «Джеты-Огуз» и «Аксуу» («Теплоключенка»), гелий и аргон в количестве до десятых долей в источниках Алтын-Арашан, расположенных на крайнем востоке Тескейского гидрогеологического массива, и на участке Барбулак, где таковые выведены в образованиях карбона из глубины 1100-1250 м (запад Иссык-Кульского бассейна). При этом наибольшие содержания этих газов в ТМВ, циркулирующие в аналогичных геолого-тектонических условиях Чуйской котловины («Аламедин», «Иссык-Ата»), не превышают первых сотен долей мг/л.

Это позволяет полагать, что по разломам Северного Тянь-Шаня имеется избирательное внедрение эндогенных растворов, а именно, куда приурочены эпицентры сильных подземных толчков. Для объяснения таких геохимических особенностей анализированы тренд и устойчивость режима ТМВ «Джеты-Огуз» и «Кара-Ой», «Каракол» и «Каджи-Сай».

Методика их обработки основывается на типовых алгоритмах программы MEZOSAUER-1.2: определены тензочувствительность, рассчитаны среднее арифметическое значение (x), среднеквадратичное отклонение (δ) и коэффициент вариации ($V = \frac{\delta}{x} \cdot 100\%$), связи с коэффициентом взаимной корреляции хлора, кальция, магния, гидрокарбонатов, карбонатов, углекислого газа, а также каждого из них с величиной рН и температурой ТМВ.

В многолетнем разрезе для пространственного распределения рН, HCO_3^- , CO_2 , CO_3^{2-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , T°C , дебит, Р вод. и Н в ТМВ характерен колебательный ход, укладывающийся в рамки усреднённых значений, а выход за усреднённые пределы ($\pm 2\delta$), т.е. превышение или снижение от среднего уровня без учёта эпицентрального расстояния представлено как показатель приближающегося сейсмического события.

На рисунке 1 представлены вариации параметров ТМВ за период 01.01.12-09. 2013 гг. В это время произошло множество землетрясений с $K \geq 8.1-15.1$, из которых большинство являются афтершоками Сарыжазского толчка, произошедшего 28.01.2013 г. ($K=15.0$) в зоне Предвосточно-Тескейского разлома северо-восточного простирания. Его эпицентр находится на территории Республики Казахстан - в приграничной зоне Иссык-Кульской области и восточнее эпицентра Сарыкамышского землетрясения (05.07.1970 г.).

По данным [6], область подготовки этой сейсмодкатастрофы приурочена к сейсмической «бреши» ($K=7-10$), находящейся в пределах координат $\varphi = 42.58^\circ$ и $\lambda = 79.50^\circ$, от которых с 1977 г. в непосредственной близости действуют пункты сейсмогидрогеологических наблюдений с 1979 г. - «Кара-Ой» и «Джеты-Огуз», в Чуйской впадине - «Аламедин», а с 2012 г. - «Каракол».

На участке ТМВ «Джеты-Огуз» в 60-е гг. прошлого столетия пробурены 8 скважин, в каждой из них параметрами, привлечёнными для исследования генезиса растворителя- H_2O , показаны вещественный состав вмещающих пород и пути поступления в них элементов. Например, скважиной № 20 на крутом склоне морены, заложенной для определения внешней границы их разгрузки, вскрыта в интервале глубин 510-520 м- на контакте метаморфических пород с известняками самоизливающаяся хлоридно-сульфатная натриево-кальциевая вода с М 2.4 г/л, тогда как скважина № 6 в известняках карбона с глубины 163 м вывела хлоридную натриево-кальциевую воду с сухим остатком 13.1г/л. Здесь за счёт высокого содержания радона и повышенной температуры воды организован одноименный курорт.

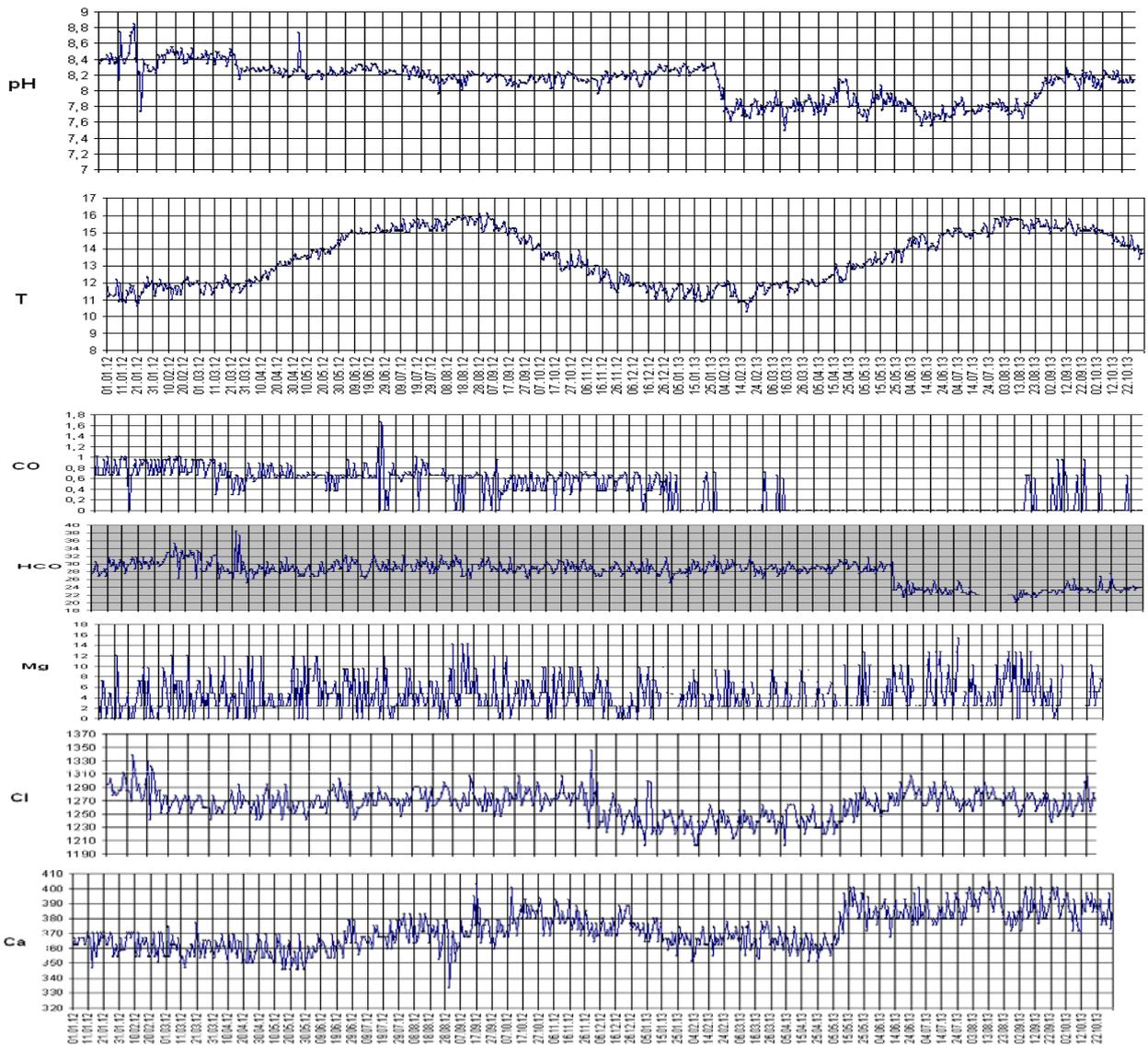


Рис. 1. Вариации временных рядов скв. 20 станции «Джеты-Огуз».

Как видно из рисунка 1, геохимические вариации, по данным скв. 20, представлены в виде непрерывных мелких импульсов. Так, значения рН, находясь 5-6 декабря 2012 года на фоновом уровне- 8.4-8.6, 2 января 2013 года понизились до 7.8 и держались с небольшими скачками до 3-5 августа 2013 года, после чего стабилизированы в пределах 8.2-8.4. Временный ход температуры имеет вид двойной волнообразной кривой, у которой наименьшие значения составляют около 11°C - 12°C , но с конца марта начинается медленное повышение, которое, достигнув максимума (16°C) к началу июля, устойчиво сохраняется до конца первой декады сентября, а далее медленно снижается до 13°C .

Для концентрации кальция характерен ступенчатый ход концентрации с частыми миганиями, который, начиная с 5 мая, скачком увеличивается, тогда как содержание CO_2 , исчезнув в начале марта, появляется в июле. При этом связи между снижением концентрации HCO_3^- и появлением CO_2 не обнаружены, что, возможно, объясняется тем, что в скв. 20 данное явление совпадает с максимумом температуры и высокой величиной рН среды. С точки зрения химической реакции данный факт вполне объясним: это неотъемлемые составляющие карбонатного равновесия, в которых за счёт заметного

повышения температуры и небольшого отклонения рН образуется дополнительная порция CO_2 , а избыток соединяется с кальцием, содержащимся от 370-380 до 400-410 мг/л.

Анализ временных рядов скв. 6 показывает, что явные предвестниковые признаки не проявляются, за исключением короткопериодных колебаний во второй половине декабря, не выходящих за рамки в аналогичный период прошлого года. При этом обращает внимание индивидуальность реакции скв. 20 и 6 станции «Джеты-Огуз», несмотря на одинаковое расстояние к эпицентральной зоне Сарыжазского землетрясения, индивидуальность реакции скв. 20 и 6: например, изменения рН и температуры ТМВ в скв. 20 зафиксированы до толчка, а в скв. 6 слабыми всплесками после свершения.

Если рассмотреть геохимический облик вариаций временных рядов этих скважин с позиции генезиса, то он, действительно, сформирован разными источниками, в связи с чем обязан сложностям поступления информации, а именно предварением и запаздыванием. Также их индифферентность к сейсмическим событиям находит объяснение в том, что карбонатные породы в скв. № 6 выступают главным источником химического состава ТМВ, в которых процессы выщелачивания за счёт повышенных геотермических условий протекают гораздо интенсивнее, а из скв. 20, пробуренной на контакте метаморфических пород с гранитными интрузиями, данные поступают из нижних частей земной коры, о чем свидетельствуют предваряющие сведения. Данные скв. 6, дополняя и контролируя сведения скв. 20, могут служить предвестниковыми признаками об афтершоковой деятельности, что также имеет немаловажное значения для повышения достоверности прогнозных исследований.

Вместе с этим, необходимо подчеркнуть, что немало фактов о возникновении резких колебаний в гидрогеологических полях за периоды подготовки, во время и после свершения сейсмических толчков [1,5].

Поэтому ниже представлены сопоставительные материалы по Чуйскому региону, где задействованы два пункта наблюдений на участке ТМВ «Аламедин». Одна - глубокая скв. 91, другая – (909) неглубокая, расположены в горном массиве, выведены из зоны разломов и характеризуются стабильным режимом. Анализ их вариационных кривых сочли необходимым, поскольку на прилегающих к ним территориям произошло несколько сейсмических толчков, отголоски которых ощутили жители Чуйского региона, а с другой стороны, наблюдаемые величины могут дополнить недостающие признаки по другим пунктам, например, при оценке свойств и состава водовмещающей среды. Так, по ГГХС «Аламедин», как видно из рисунка 2, попытка уловить связь с тремя землетрясениями, произошедшими в начале мая этого года на эмпирическом уровне увенчалась успехом. В целом по динамике графиков даже при механическом связывании с землетрясениями можно получить результативность в поисках предвестниковых признаков, если не по амплитуде, то по частоте проявления.

17 ноября 2012 года содержание хлора в скв. 915, составляющее в среднем 26.3-26.49, снижается до 24.7, но 16 января 2013 года снова повышается до 26.49 мг/л, а 17.01.2013 г. резко понижается до 24.34 мг/л. В 29 ноября 2012 года содержание кальция уменьшается от 21.25 до 19.63 мг/л, а в январе 2013 года - от 21.25 (17.01.2013 г.) до 19.84 мг/л (21.01.2013 г.).

По вариационным графикам (рисунок 2) видно, что параметры ТМВ, находящиеся в постоянном колебательном режиме, демонстрируют свою чувствительность к внешним воздействиям, этим самым возможно проявляется специфичность геолого-тектонического разреза самой скважины или чувствительность метода химического анализа ТМВ.

Вместе с этим, характерной особенностью этих графиков, построенных покомпонентно, особенно по избыточному давлению, является близость или схожесть по форме к симметричности распределения временных рядов.

По данным за прошлые годы, например, землетрясение с $K_R=13.2$, произошедшее 05.02.2012 г., предварялось по скв. 915 гидрогеохимическими изменениями в виде двойных бухтообразных понижений, в которых обоснованные связи (рисунок 3) отсутствуют: проявляются, конечно, резкие колебания, например, в содержаниях HCO_3^- и CO_3^{2-} при относительно спокойных Р-Т условиях. Интересно также то, что концентрации CO_3^{2-} изменяются противофазно температуре и содержаниям гидрокарбонатов в ТМВ, тогда как последние находятся в закономерной взаимосвязи, лишь отличаясь по контрастности.

Ниже по временным рядам по ГГХС «Каджи-Сай» описан режим ТМВ за 01.06.2012 г. по сентябрь 2013 г. с нанесением на график произошедшие за этот период землетрясения (рисунок 3).

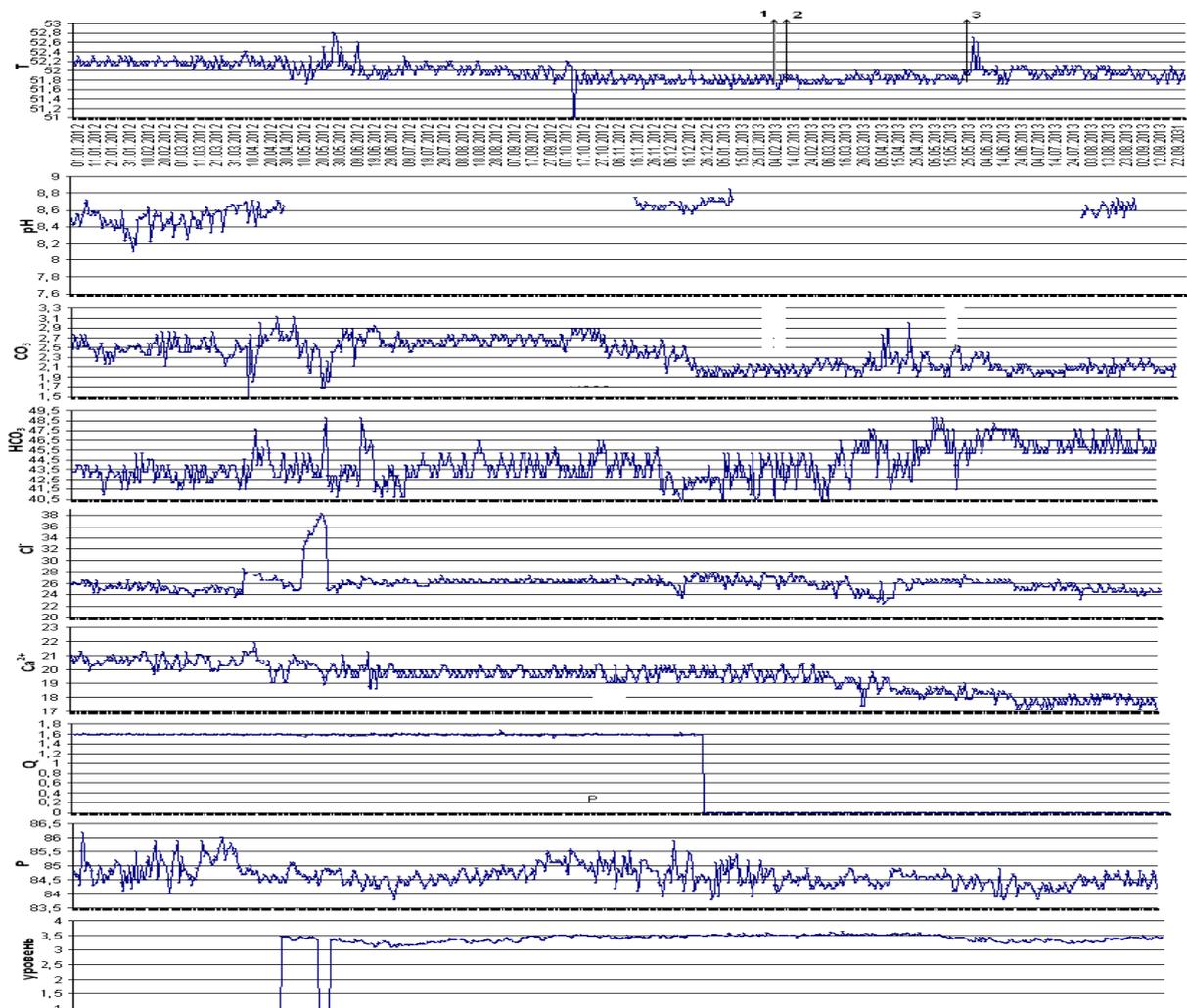


Рис. 2. Вариации временных рядов по станции «Аламедин» за 01.01.2012-22.10.2013 гг.

Прежде всего следует сказать, что величины рН, стабильно находящиеся в близкой к слабощелочной среде (7.8), 6-16 декабря спускаясь до верхней границы нормальных

условий (7.4-7.5), понижаются до минимума (7.2-7.1), а температура к этому времени через постепенное снижение от 55° до 53.5° С стабилизировалась (54° С), тогда как содержание CO_2 , мигая ступенчатыми скачками, повышается от 4.8-5.0 до 7.2-8.1, причём на этом уровне достаточно долго держится, если не принимать во внимание единичных колебаний. В этой скважине ход концентраций HCO_3^- и Са стабилен, т.е. амплитуды их колебаний не превышают 1%; в CO_2 и HCO_3^- чётко видна противофазность, но первый повышается ярче, нежели спуск HCO_3^- .

В режиме температуры данной ГГХС до конца 2012 года преобладает ступенчатость хода с периодом - от 15-20 до 30 дней, а за июнь-август месяцы 2013 года изменение составляет 0.5° - 1.0° С, т.е. от 54° до 54.5° - 55° С, что далее также понижается к концу сентября - началу октября 2013 года. Если эту картину дополнить со значениями CO_3^{2-} и HCO_3^- , то весь 2013 год в первом случае выступает как стимулирующий фактор повышения от 5.8 до 8-9 мг/л, тогда как для HCO_3^- и Са служит, как видно из рисунка 4, как стабилизирующий.

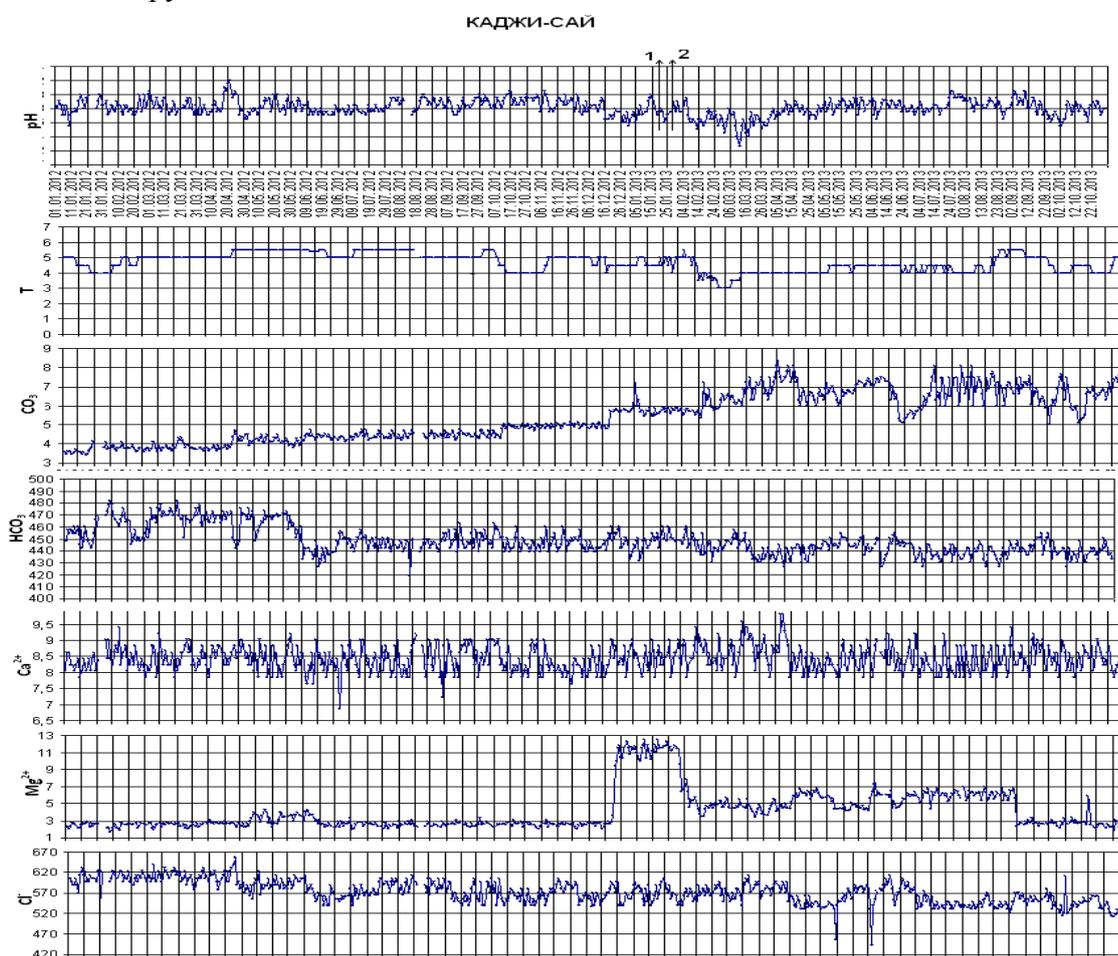


Рис. 3. Вариации рядов ТМВ «Каджи-Сай» за 01.01.2012- 22.10.2013 гг.

Кроме того, о связи рН-Т условий в данной скважине с периодом подготовки и происхождения Сары-Джазского землетрясения могут послужить нижеследующие факты: с ноября 2012 года до февраля 2013 года, в течение которого происходит множество толчков достаточно ощутимой силы, в содержании магния виден резкий скачок - от 3.8-4.1 до 11-11.8 мг/л. Так, перед афтершоками с $K_R = 15$ зафиксированы импульсы подъёма рН до 8.45, а сброс Mg^{+2} до 5.6 мг/л также связан с постсейсмическими явлениями.

На рисунке 4 представлены вариационные кривые ГГХС «Кара Ой» за 01.06.2012-22.10.2013 гг.

На примере ГГХС «Кара-Ой» ход значений рН среды при частых «миганиях», составляющих сотые доли, состоит из серий слабых вибраций, укладывающихся большей частью в средний уровень, за исключением март-май и август-сентябрь месяцев 2012 года, но, начиная с 2013 года, т.е. 25.01.2013 г. понижается на десятые доли - от 8.7 до 8.6, что устойчиво задерживается до середины первого полугодия - до 15.06.2013 г., а со второй половины становится щелочной (8.9), когда температура отражена удлинённой двугорбовой вариацией, у которой первая вершина приходится на февраль 2012 года, а вторая - на июль 2013 года при устойчивом понижении, начавшемся в октябре 2012 года и длившемся до марта 2013 года (23^0 - 23.7^0 C), т.е. плавно переходя к повышению, резким скачком 14.06.2013 года достигает $+25^0$ C.

Одновременно происходит подъём величины рН среды до 8.9, такая тенденция сохраняется и сегодня (рисунок 4), что нельзя сказать о временных вариациях HCO_3 при устойчивом направлении к снижению CO_3 .

Устойчивая бухта рН от 8.88 до 8.6 ГМВ «Кара-Ой», представленная на графиках, продолжается до июнь-июля, причём, снижаясь от 6.6 до 5.68 мг/л перед землетрясениями с $K_R = 13-14$, произошедшими в марте-апреле 2013 г.; CO_3^{-2} (15.04.2013 г.-22.08.2013 г.) в сентябре резко спускается до 4.8 мг/л при слабой пульсации Cl^- (748.2-722.4мг/л) и Ca^{+2} (16.2-13.8 мг/л), а Mg^{+2} в формате 4.0-9.7 мг/л с некоторым опозданием повышается от 5.1 до 8.4 мг/л.

Главным в понижении температуры воды считаем ухудшение технического состояния скважины, связанное с тем, что с момента сдачи в эксплуатации прошло более 20-ти лет. В этой связи рабочие части фильтра нуждаются в очистке от мелкозема, из-за чего, скорее всего, термальная вода в нижние части скважины не поступают.

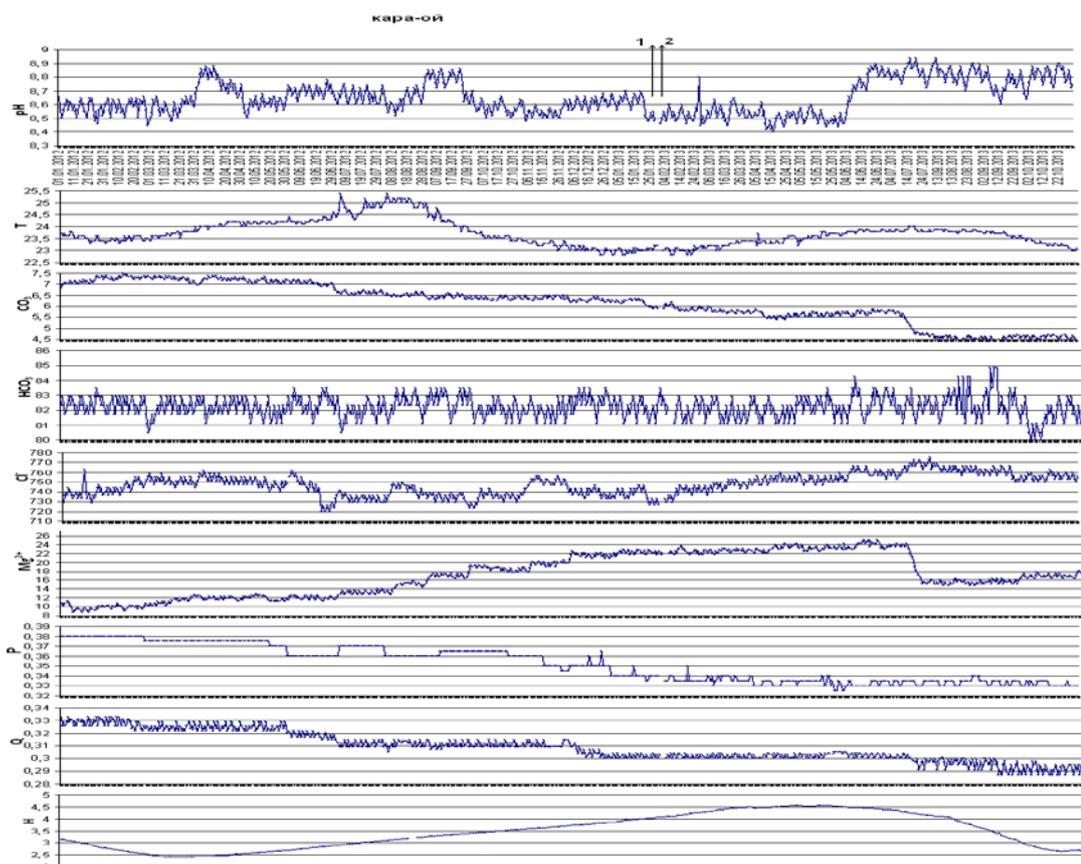


Рис. 4. Вариации временных рядов по данным станции «Кара-Ой» за 2012- 2013 гг.

ГДО «Каракол», базирующийся на скважине глубиной 1500 м, функционирует с октября 2012 года и в этой скважине, выводящей субтермы из водоносного комплекса миоцен-плиоценовых отложений, чётко отмечаются на Сарыжазское землетрясение как предвестниковые, так и постсейсмические эффекты, в связи с чем для повышения достоверности информации было дополнено гидрогеохимическими определениями (рисунок 5).

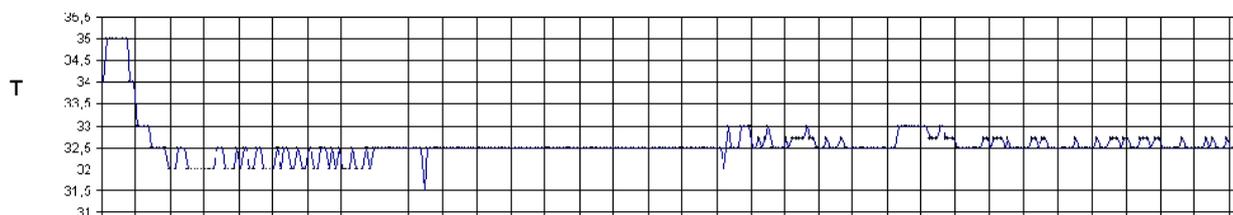


Рис. 5. Вариации временных рядов ГДО «Каракол» за 2012-2013 гг.

Вода данной скважины является высокощелочной ($\text{pH}=9.8$), а по химическому составу - гидрокарбонатно-хлоридной натриевой при минерализации до 0.5 мг/л, аналогичной к ТМВ в кристаллических породах палеозоя и каледонских интрузиях Тескейского гидрогеологического массива.

К этому необходимо добавить, что на основе сопоставительного анализа выявлена индифферентность физико-химических показателей данной скважины к стратиграфической принадлежности и литологической представленности вмещающих образований, т.е. субтермы - исключение для осадочных толщ в артезианских бассейнах, но аналогичны - для горных массивов Кыргызского Тянь-Шаня, особенно, для зон сочленения глубинных разломов, различных по характеру развития и вещественному составу, а также по тектонической и сейсмической активности.

Таким образом, как видно из вышеизложенного материала, по вариационным кривым установлены реакции физико-химических показателей ТМВ Северного Кыргызстана на процессы подготовки землетрясений, т.е. возникают всплески, различные по формам, контрастности и длительности.

Иными словами, на примере Сары-Жазского землетрясения и его афтершоков, несмотря на отсутствие однозначных связей между набором параметров и активизацией сейсмичности, в скв. 6 и 20 «Джеты-Огуз», находящихся вблизи как друг другу, так и одинаково к эпицентру, возникают резкие вариации, различные по формам и длительности.

Литература

1. Войтов Г.И., Моисеева О.Б. О внутри суточных вариациях химического состава природных газов из скважин Алма-Атинской прогностической сети. //ДАН СССР № 3, Т. 284. 1985. –С.703-706.
2. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. - 2005. - Т.46. - № 11. - С. 1176-1190.
3. Кендирбаева Дж.Ж. Особенности формирования химического состава терм хр. Тескей Ала-Тоо //Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Кирг. ССР. 1982.
4. Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. Основные результаты гидрогеологических исследований для прогноза сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня // Вестник ИС НАН КР. 2013, №2. – С. 33-43 (www.seismo.kg).
5. Куликов Г.В., Рыжов А.А., Гарифулин В.А., Лыгин А.М. Оценка геодинамической обстановки и сейсмической опасности по энергетическим параметрам и векторам напряжений гидрогеодеформационного поля //Разведка и охрана недр. -2010. -3 7. –С. 19-24.
6. Мамыров Э., Маханькова В.А., Берёзина А.В., Молдобекова С., Хан В.В. Прогноз вероятного места сильных землетрясений на территории Кыргызстана //Вестник Института сейсмологии НАН КР. №1, 2013 (www.seismo.kg).

Рецензент: д.ф.-м.н. Муралиев А.М.