

УДК 550.34:556.3

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

О ВЗАИМОСВЯЗИ СЕЙСМИЧНОСТИ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ КЫРГЫЗСТАНА

Аннотация. Рассмотрены гидродинамические поля в скважинах территории Кыргызстана. Ретроспективно проанализирована их взаимосвязь с землетрясениями с эпицентрными расстояниями 100 – 250 км до районов пунктов наблюдений. В Кыргызстане перед землетрясениями наибольшие изменения температуры и уровня воды, свидетельствующие о роли фильтрационного поля, зафиксированы в подземных водах «чувствительных зон» земной коры – глубинных разломах. Для изучаемых параметров в самоизливающейся скважине «Джеты-Огуз 20» и неглубокой скважине «Каракол» характерны высокие градиенты напряжений, вызывающие гидродинамические предвестники.

Ключевые слова: гидродинамические предвестники, сейсмичность, пункты наблюдений, эпицентральное расстояние, температура и уровень воды, фильтрационное поле, глубинные разломы.

КЫРГЫЗСТАНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК ЖАНА ГИДРОДИНАМИКАЛЫК КАБАРЛАРДЫН ӨЗ АРА БАЙЛАНЫШТАРЫ

Кыскача мазмуну. Кыргызстандын аймагындагы түтүкчөлөрдүн гидродинамикалык талааларынын маалыматтары каралат. Алардын жер титирөөлөр менен байланышы 100-250 км эпицентрдик аралыкта байкоо пункттарынын аймактарына ретроспективдүү талданат. Кыргызстанда жер титирөөлөргө чейин фильтрация талаасынын көрсөткүчтөрү- суунун температурасын жана деңгээлинин эң көп өзгөрүүсү жер кыртышынын «сезимтал зоналарында» - терең жаракалардагы жер астындагы сууларда катталган. Изилденген параметрлер «Жети-Өгүздөгү 20» - түтүкчө жана «Караколдөгү тайыз» түтүкчө гидродинамикалык өзгөрүүлөрдү пайда кылууга жөндөмдүү жогорку чыңалуудагы градиенттер менен мүнөздөлөт.

Негизги сөздөр; гидродинамикалык прекурсорлор, сейсмикалык, байкоо пункттары, эпицентрдик аралык, температура жана суунун деңгээли, чыпкалоо талаасы, терең жаракалар.

ON THE INTERRELATION OF SEISMICITY AND HYDRODYNAMIC FIELDS IN KYRGYZSTAN

Abstract. The hydrodynamic fields of holes in the territory of Kyrgyzstan are considered. Their interrelation with earthquakes at epicentral distances of 100-250 km to the observation points is analyzed retrospectively. In Kyrgyzstan, before earthquakes, the greatest changes in temperature and water level, indicating the role of the filtration field, were observed in groundwater in «sensitive zones» of the earth's crust - deep faults. The studied parameters in self-flowing hole «Dzhety-Oguz 20» and shallow hole «Karakol» are characterized by high stress gradients causing hydrodynamic precursors.

Key words: hydrodynamic precursors, seismicity, observation points, epicentral distance, temperature and water level, filtration field, deep faults.

Введение. Изучение проблем прогноза землетрясений с большим размахом связано с последними десятилетиями XX века, и, благодаря познанию природы развития сейсмических процессов и геофизических полей, достигли наиболее широкого развития. Вопросы этого направления сводятся к исследованию закономерностей и особенностей подготовки сейсмических процессов, вызывающих различные реакции водной среды с помощью автоматизированных средств наблюдений. Для этого научных препятствий нет, за исключением трудностей из-за ограниченной доступности к развивающимся очагам для постановки натуральных наблюдений, а также к экономическим средствам, бесспорно, имеющим решающее значение, ибо организация наблюдательной сети является весьма затратной.

Известно, что в гидродинамических параметрах скважин воздействие поверхностных сейсмических волн от сильных удалённых землетрясений происходят значительные вариации.

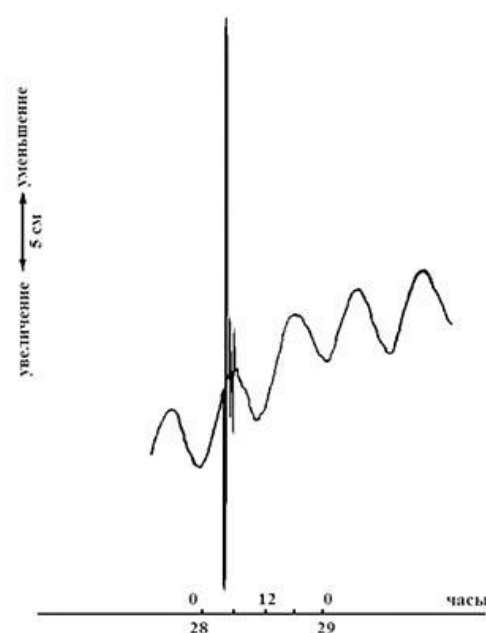


Рисунок 1. Изменение уровня воды в скважине с глубиной 1660 м «Хейбаарт» во время Аляскинского землетрясения 28.03.1964 г. при эпицентральной дистанции 10115 км по данным [1].

В качестве примера на Рисунке 1 приведён график изменения уровня воды в скважине «Хейбаарт» (Бельгия) в результате сильнейшего Аляскинского землетрясения 28.03.1964 г. с $M_w = 8.8$ [1]. Было получено много сообщений об изменениях уровня воды в скважинах на расстоянии даже до 11 тысяч километров от очага данного землетрясения. При этом продолжительность вариаций уровней воды составляла от нескольких часов до одних суток, а амплитуды - от нескольких сантиметров до 4.5 метров [2]. К примеру, в Китае перед Таншаньским землетрясением 28.07.1976 г. с $M = 7.8$ в скважине на расстоянии 200 км от эпицентра дважды отмечено кратковременное понижение температуры воды на 5°C . Аналогичные эффекты наблюдались и на п-ове Изу перед землетрясением, произошедшим в Японии 14.01.1978 г. с $M = 7.0$. В скважине - синхронное снижение уровня воды и объёмные деформации. В обоих случаях предвестники обусловлены, вследствие деформации растяжения приповерхностной зоны при подготовке землетрясений,

повышением фильтрационной проницаемости и увеличением притоков холодных вод. Однако, решение задач прогноза землетрясений и его практическая реализация не оправдались, т.к. по временным вариациям уровней и дебита воды выделение полезных сигналов, поступающих из глубинных зон, представляет собой сложную задачу. Его главная причина заключается в том, что исследования, связанные с изучением неоднородности среды и сейсмических деформаций разного ранга в условиях развития напряжённо-деформированного состояния целенаправленно не проводились, а доминировало необоснованное стремление выделить аномалии в качестве предвестника в зависимости от расстояния к эпицентрам сильного землетрясения и времени основного толчка. Не учитывались то, что ведь подобные аномалии могут быть связаны не только с процессами подготовки землетрясения, но и с разной реакцией полей, с которых ведутся мониторинговые наблюдения.

Особый интерес к такому виду исследований в Кыргызстане вызван тем, что в показателях уровней и расходов изучаемых вод улавливаются вариации не только за счёт произошедших землетрясений, но и по гидродинамическим предвестникам, возникающим перед сильными землетрясениями [3]. Это указывает на необходимость применения комплексного изучения режима системы «скважина-резервуар» с отражением периоды активизации сейсмичности и сейсмического затишья. Это обусловлено тем, что природа его возникновения и реализация является многоплановой, из-за чего масштабы и алгоритмы исследований в реальном времени должны тщательно оцениваться результатами многократной экспертизы. Достижение этого возможно с помощью системного подхода, способного на выявлении основных факторов и учёта суммы поступающей информации по иерархическим уровням.

Методика исследований. В Кыргызстане исследуемые воды по эмпирической плотности распределения подчиняются нормальному закону и для очищения временных рядов использован фильтр скользящего среднего 365 и более суток с полугауссовским окном в свете динамического влияния тектонического и экзогенно-техногенного факторов.

Системный подход позволит, исключив ошибки в изучении вопросов прогноза землетрясений, скорректировать этапы и направленность исследований. Одним из моментов этого методического является применение достижения исследований, представляющих собой совокупность научно-теоретических концепций, в которых объекты - сейсмичность и термальные воды рассматриваются как единая система, которая имеет множество значений с учётом внутренних и внешних связей, обладающих материальный, энергетический и информационный характер. Именно связи превращают систему из простого набора компонентов в единое целое, определяя вместе с компонентами её структуру. Например, с точки зрения теории систем, основу которой заложил Л. фон Берталанфи (1968), для них характерен различный набор компонентов и множественность физических свойств, участвующих в реализации поставленной цели.

По данным ZoltanVisy - это также взаимодействие, которое предполагает иерархичную зависимость параметров экспериментально-натурного материала от результативности сведений, реально свидетельствующей о готовящемся землетрясении. В соответствии с этим, сейсмичность и подземные воды являются системами, причём сами исследуемые объекты, в свою очередь, могут быть неотъемлемой частью более расширенной системы.

Иными словами, как считает Ерохина Е.А., последние, удовлетворяя принцип системности, позволяют использовать общенаучную методологию качественного исследования и моделирования всех процессов как полноценную систему. Дело в том, что любая система имеет определённый набор показателей, например, в данном случае минеральные воды, являющиеся источником информации прогноза землетрясений, благодаря набору и количественному содержанию компонентов, а также геолого-

тектоническим особенностям условно разделяются на подсистемы и элементы. В свою очередь, подсистемы представляют собой сложные системы, тогда как их элементы являются её нерасчленимыми носителями. В системе такие составляющие связаны между собой как непосредственно, так и опосредованно, т.е. через другие параметры.

С учётом мнения Бэбьюли Ф., мы считаем, что, действительно, методы системных подходов - это сложный алгоритм, требующий комплексного исследования, в данном случае, современных достижений в области химии и биологии, физики и математики, где опытным путём выделяются предвестниковые признаки. Поскольку последние рассматриваются как отражение определённой последовательности взаимосвязанных геолого-геохимических событий, которые происходят в течение длительного геологического времени, то для достижения результатов в изучении системы «сейсмичность-подземные воды» предусмотрено моделирование их поведения в годовом и многолетнем режиме.

Несмотря на разнообразие существующих сегодня определений сути изучаемой проблемы, практически речь идёт о её составных частях. Так, на современном этапе научно-практические исследования включают создание регионального и локального мониторинга за комплексом физико-химических показателей объектов. Из этого следует, что вовлекаются специалисты широкого профиля и в этом определении присутствуют все необходимые системообразующие факторы - есть функция и есть структура, есть цель и путь действия. Это позволяет изучить характер взаимосвязи сейсмичности и термальных вод в виде открытой системы (Рисунок 1). При этом отправным моментом служат полные сведения о наборе параметров с учётом всех форм нахождения, особенно, в водной среде.

Экспериментально-натурное моделирование включает такие методические приёмы как воспроизводимость получаемых результатов и контроль анализа. Первое достигается многократным повторением физико-химических анализов, т.к. сходимость результатов свидетельствует об отсутствии ошибок. Общий контроль анализов получаемых сведений производится на основе содержания в них макро- и микрокомпонентов, а их правильность оценивается допустимыми пределами ошибок, что, например, в зависимости от величины сухого остатка колеблется от 1.5 до 10%; так, для воды с сухим остатком более 50 г/л это значение не должно превышать 10%, а при 40-50 и 30-40, 20-30 и 2-10 г/л предусмотрены количества 1.5-2.0%; 2-3%; 3-4%; 4-5% соответственно.

Комплексирование экспериментально-натурного моделирования с интенсивностью и эпицентрами произошедших землетрясений, повышая значимость результатов исследований, вытекает из общности объектов гидрогеологии и сейсмологии. В данном случае каждая из них изучает воды в таких аспектах: если гидродинамика рассматривает её в качестве объекта для выяснения источников и путей поступления дополнительной порции параметров, то сейсмология, опираясь на существующее представление о предвестниках, развёртывает наблюдения за сигналами, поступающими от нарушения равновесия в системе «порода-подземные воды-сейсмичность».

Их классифицирование является одним из методов научного познания, раскрывающих внутренние и внешние связи между параметрами, реально создающие объективную базу для гидрогеосейсмологических мероприятий.

Полученные результаты. В Кыргызстане гидрогеологические наблюдения являются одним из способов мониторинга, направленного на поиски предвестников землетрясений (Рисунок 2). Это определяется высокой чувствительностью водонасыщенных пород к внешним воздействиям, в т. ч. к процессам развития напряжённо-деформационного состояния земной коры [4]. В течение более полувека проводятся наблюдения, используя системы регистрации уровня, температуры и

расхода воды, а также атмосферного давления. Их интервал регистрации составляет 40 минут, точность - до десятых долей, а атмосферного давления – 0.2 мбар.

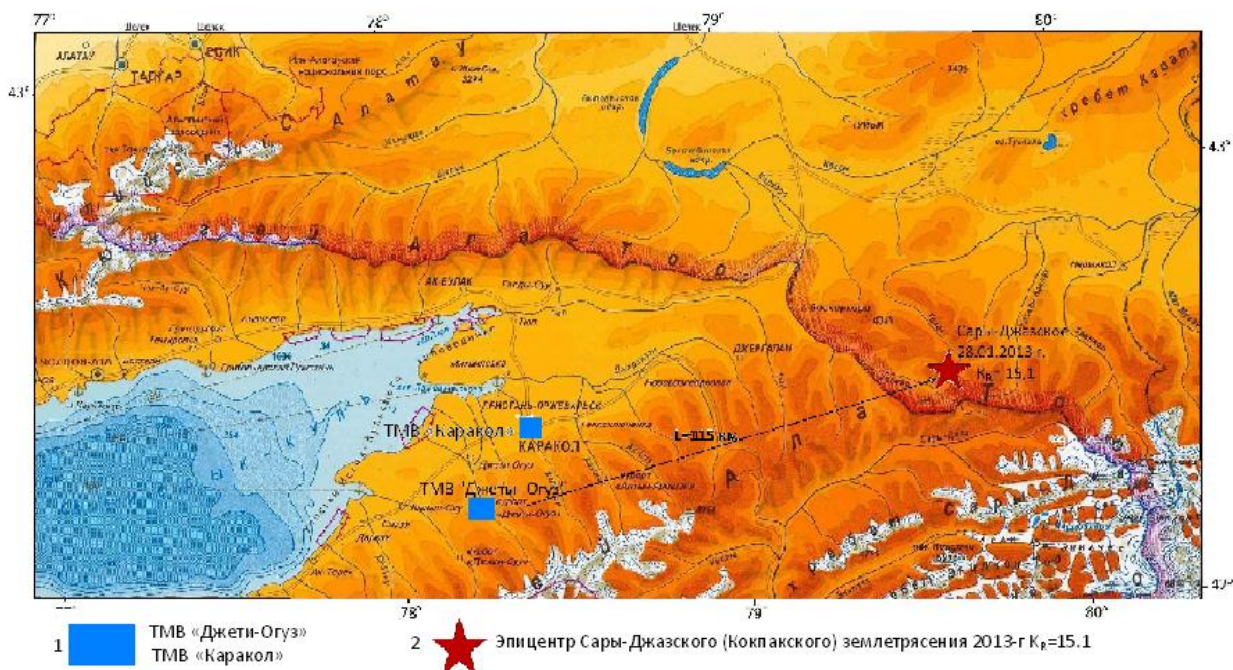


Рисунок 2. Схема Восточного Прииссыкулья и пункты наблюдений.

Сегодня в Кыргызстане эффективность функционирования гидродинамического мониторинга, как показано в [5], улучшается за счёт, во-первых, комплексирования методики регистрации режима уровня воды и атмосферного давления с интервалом дискретизации до 30-35 минут, во-вторых, а также компенсируя естественными факторами- величинами солнечно-земных приливов, источников современного питания и техногенного воздействия; деформационных свойств наблюдательных пунктов, основанных на учёте асинхронности вариаций уровня и отклика температуры воды для оценки чувствительности термальных вод в целом [6].

Поступающие из ГГХС и ГДО геохимические и гидродинамические сведения заносятся в банк данных, а в лабораторных условиях они оперативно обрабатываются: по каждому параметру строятся временные графики при помощи программного обеспечения «Excel», по которым анализируются динамика их режима, с соответствующей корреляцией с сейсмической обстановки.

В целом исследуемые воды по эмпирической плотности распределения подчиняются нормальному закону. Для очищения ряда использован фильтр скользящего среднего с полугауссовским окном, в результате чего по данным скважины «Джети-Огуз 20» периодичность колебаний параметров составили 28 - кратные им 14 и 7 сут. (Рисунок 3).

С помощью сглаживания заранее можно прогнозировать в годовом и многолетнем разрезе среднемесячные значения, среднеквадратичные отклонения и коэффициенты вариаций очищенных рядов, характерные для периодов сейсмического затишья, на фоне которого сейсмическое событие с интенсивностью $K > 12.0$ выделяется независимо от удалённости очага, т.к. в пункте наблюдения эти параметры будут превышать средний уровень.

При этом аномальной амплитудой колебания показателя принимается превышение его значения в два раза, а именно, амплитуды вариации временного ряда колеблются в диапазоне $> \pm 2\delta$ от стандартного отклонения. Это обусловлено тем, что режим объектов наблюдений в годовом и многолетнем разрезе в периоды сейсмического

затишья характеризуется устойчивой стабильностью, в связи с чем его изменение $> \pm 2\delta$ от среднеарифметического значения принимают как предвестниковый сигнал о предстоящих сейсмических толчках.

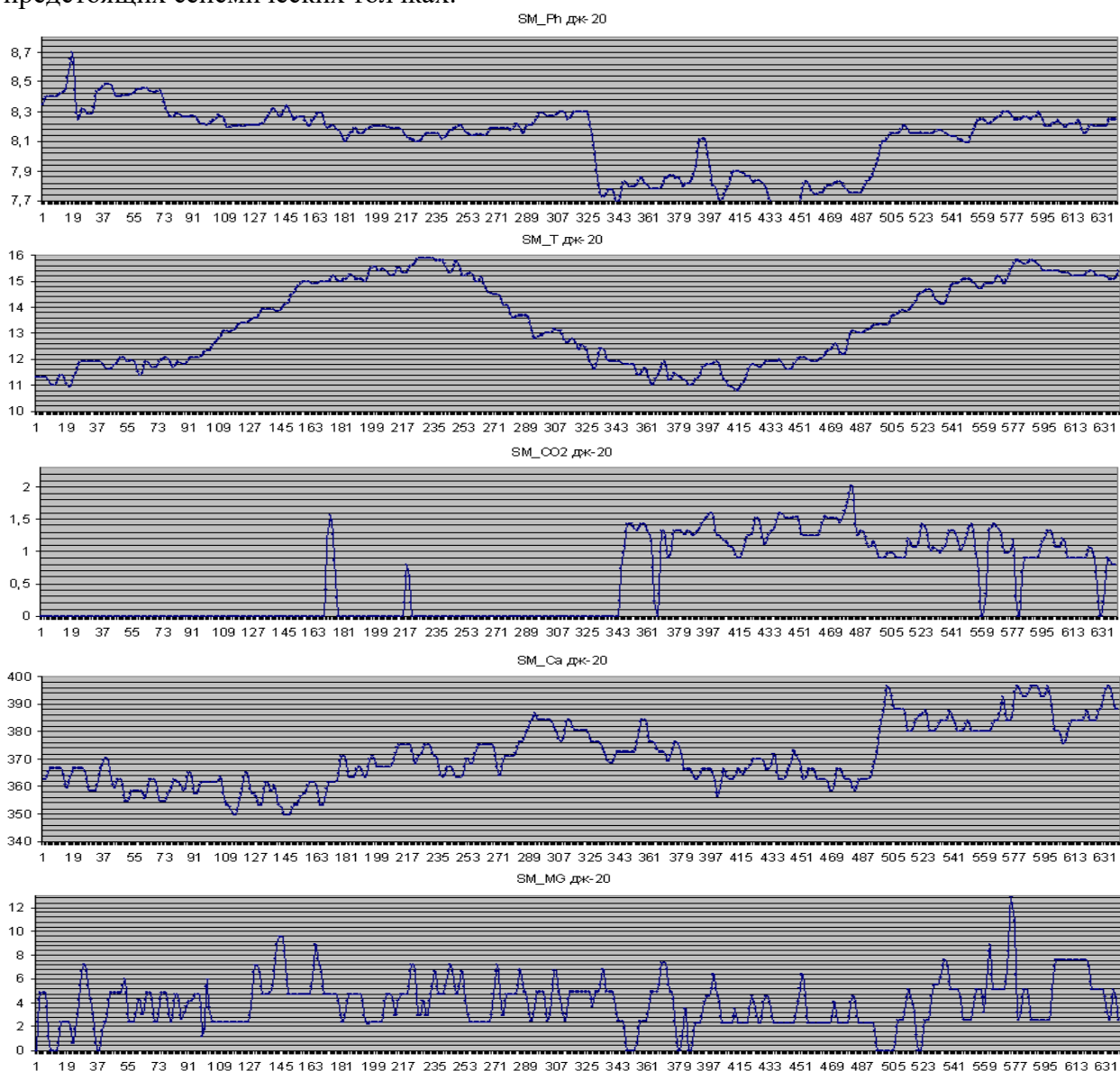


Рисунок 3. Сглаживание временных рядов скв. «Джеты-Огуз 20» за 2021-2022 гг.

Дисперсия показателя рассматривается как математическое ожидание квадрата его отклонения от среднего значения, причём является естественной мерой рассеивания относительно центра распределения, а вычисленный коэффициент вариации- относительная характеристика его рассеивания- это отношение среднеквадратичного отклонения к среднему значению, выражена в процентах (%).

Путём суммирования коэффициента каждого показателя термальных вод определяют интегральный коэффициент вариации, направленный на повышение предвестникового эффекта, поскольку параметры, составляющие по информативности его основную часть, характеризуются наибольшими флуктуациями. Так, для нахождения связи между параметрами временных рядов ГД «Кара-Ой» и атмосферного давления вычислены коэффициенты взаимной корреляции для «скользящего окна», т.е. это данные наблюдений по формуле: $\sum = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$ где x_i и y_i - определяемые

параметры; $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$; y_i и $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$ x_i – среднеарифметические значения (Рисунок 4).

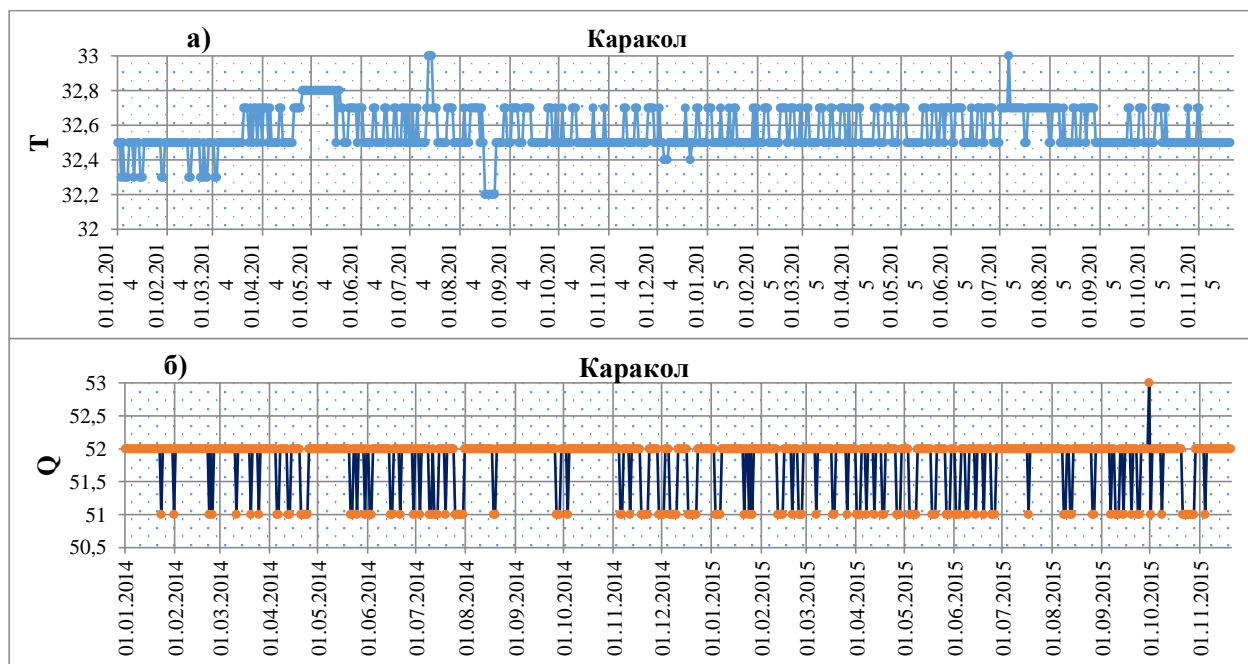


Рисунок 4. Вариации температуры и дебита грунтовой воды ГД «Каракол».

Поэтому при коэффициентах приливов, превышающих барометрическую эффективность, рассчитаны максимальные значения уровня или напора для периодов новолуния и полнолуния, и, наоборот, введён период с максимальными перепадами атмосферного давления. Рассчитанные таким образом наибольшие амплитуды короткопериодных колебаний временных рядов ограничивают фоновые пределы, а колебания внутри них считаются закономерными, тогда как выход за эти рамки – это аномалии, связанные с активизацией сейсмичности.

По территории Кыргызстана установлено, что флуктуации выше 10%, связанные с землетрясениями с $K_R \geq 12.0$ ($M \geq 4.0$): зафиксированы по дебитам (Q , л/сек) от 20 до 100%, уровням (H , м) – от 0.3 до 1 м и температуре (T , °C) – до 1°C. В скважине 909 «Аламедин» проявляются импульсы в изменении поведения Р-Т условий, т.е. наблюдается по замерам уровня воды понижение до 5 см и, наоборот, повышение атмосферного давления (кгс/см^2) от 86.2 до 84.4 кгс/см^2 (Рисунок 5). Данная картина зафиксирована накануне четырёх землетрясений с $K = 6.6-7.3$, произошедших в июле-августе на эпицентральной расстоянии около 42 км.

Здесь практически на фоне сезонной цикличности появляются колебания с резкими амплитудами и формами, напоминающими в тектонических блоках сложную природу развития напряжённости, обуславливающую каждый раз свою индивидуальность на подготовку сейсмичности. В этих случаях вариации давления слабо воздействуют на гидростатический напор в скважине, в результате чего в широко проявляется статически изолированный отклик уровня воды на земные приливы и атмосферное давление.

Итак, результаты совмещения анализа сейсмичности и изменений в гидрогеологических условиях, в свою очередь, как и изучение качественного набора и количественных содержаний параметров в последних имеют все необходимые системообразующие связи – функцию, которая выполняет изучение их возможности для оценки свойств, а также цель – установить и дать заключение об их эффективности для

применения в качестве источника информации о сейсмичности. В то же время по нашим гидродинамическим данным установлено, что вышесказанное связано не только недостаточностью уровня знаний и накопленного опыта, но и с неопределённостью диапазона колебаний частотно-амплитудных характеристик в конкретном наблюдательном пункте, а также многообразием источников и факторов формирования их суточного и декадного, годового и многолетнего режима. Так, [8] считает, что отделение отклика напорных вод и объёмных деформографов различается неоднородной реакцией и инерционностью системы «скважина-землетрясение-породы», а также недоступностью прямого учёта воздействия гидростатического напора и порового давления. На выполнение всего этого позволяют принципы и подходы системных исследований.

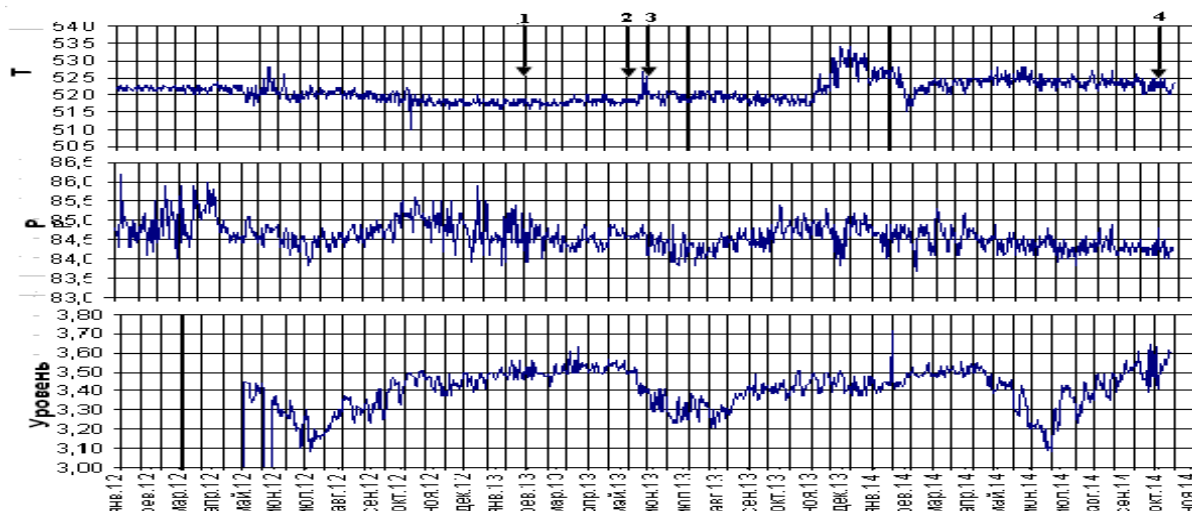


Рисунок 5. Многолетние вариации гидродинамических параметров по скважине 909 «Аламедин».

Выводы. В Кыргызстане исследуемые воды по эмпирической плотности распределения подчиняются нормальному закону и для очищения временных рядов использован фильтр скользящего среднего 365 и более суток с полугауссовским окном в свете динамического влияния тектонического и экзогенно-техногенного факторов. Установлено, что флуктуации выше 10% связаны с землетрясениями с $K_R \geq 12.0$ ($M \geq 4.0$) и зафиксированы по дебитам (Q , л/сек) от 20 до 100%, уровням (H , м)- от 0.3 до 1м и температуре ($T^{\circ}C$) до $1^{\circ}C$.

Разделение отклика изучаемых вод от объёмных деформографов различается из-за неоднородной реакции и инерционности системы «скважина – землетрясение – породы», особенно, недоступностью прямого учёта величины воздействия гидростатического напора и порового давления. Для выполнения вышеуказанного предлагается проведение системных исследований.

Литература

1. Кендирбаева Дж.Ж. Типизация пространственно-временной морфологии гидрогеохимических и гидродинамических траекторий Кыргызстана при сейсмической активизации /Мат-лы Шукинской конф. «Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность

- платформенных территорий и сопредельных регионов». Воронеж, 2020. С. 160-165.
2. Sterling A., Smets E. Study of earth tides, earthquakes and terrestrial spectroscopy by analysis of the level fluctuations in Borehole at Haibaart (Belgium) // Geophys. Journal Royal Astronom. Soc. 1971. V. 23. № 2. P. 225-242.
 3. Cooper Н.Н., Bredehoeft J.D., Papadopoulos I.S. et al. The response of well-aquifer system to seismic waves // J. Geophys. Res. 1965. V. 70. P. 3915-3926.
 4. Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. Результаты гидродинамического мониторинга в Кыргызстане // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2015. 1(5). С. 46-54.
 5. Кендирбаева Дж.Ж. Идентификация гидрогеохимических и гидродинамических эффектов с проявлениями сейсмичности на территории Кыргызстана // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2020. Т. 33. № 4. С. 209-223.
 6. Имашев С.А., Кендирбаева Д.Ж., Свердлов Л.Г. Алгоритм и технологии программного обеспечения «Geochemistry» для выявления гидрогеохимических эффектов землетрясений // Вестник КРСУ. 2018. Т.18. № 4. С. 164-169.
 7. Кендирбаева Д.Ж. Об основных процессах к интерпретации гидрогеохимических изменений в целях прогноза землетрясений: анализ и синтез практики и знаний // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2014. № 2 (4). С. 51-60.
 8. Кендирбаева Дж.Ж. Основные параметры современных термоминеральных вод и сейсмичность Кыргызстана /Сб. Булатовские чтения. Кубанский ГУ. 2021. Т. 1. С. 60-63.

Рецензент: д. ф-м.н., профессор Муралиев А.М.