

УДК 551.243+551.2

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В КЫРГЫЗСТАНЕ

**Аннотация:** В предлагаемой статье излагаются методика обработки и анализа режима гидродинамических полей Кыргызстана для понимания процессов в подземной гидросфере, происходящих в периоды до, во время и после сейсмических событий. Для этого нами рассмотрены временные ряды температуры, избыточного давления и уровней подземных вод, как переменный параметр, находящийся в связи с напряжённо-деформационным состоянием Земли, а также как объект, испытывающий влияние атмосферных явлений.

**Ключевые слова:** Геодинамическая обстановка, деформационные волны, деструкции литосферы, очаги землетрясений, сейсмогидрогеологический мониторинг, информационно-поисковый набор, суммарный эффект, геохимические показатели, гидродинамические параметры, амплитуды колебания, быстрый возврат.

## КЫРГЫЗСТАНДАГЫ ГИДРОДИНАМИКАЛЫК МОНИТОРИНГДИН ЖЫЙЫНТЫУКТАРЫ

**Кыскача мазмуну:** Сунушталып жаткан макалада сейсмикалык окуяларга чейин, анын убагында жана кийинки мезгилдерде болуп жаткан жер алдындагы гидросферадагы процесстерди түшүнүү үчүн Кыргызстандын гидродинамикалык талаалары режимин иштеп чыгуу жана талдоого алуу методикасы баяндалат. Ал үчүн биз тараптан температуранын, артыкбаш басымдын жана жер алдындагы суулардын деңгээлинин убакыттык катары Жердин чыңалуу-деформациялык абалы менен байланышта турган өзгөрүлмөлүү параметр, жана ошондой эле атмосфералык кубулуштардын таасирин башынан өткөрүп жаткан объект катары каралган.

**Негизги сөздөр:** Геодинамикалык кырдаал, деформациялык толкундар, литосферанын деструкциясы, жер титирөөнүн очоктору, сейсмогидрогеологиялык мониторинг, маалыматтык-издөө топтому, суммаланган натыйжа, геохимиялык көрсөткүчтөр, жана гидродинамикалык параметрлер, олку-солкулук амплитудалар, тез кайтуу.

## RESULTS OF HYDRODYNAMIC MONITORING IN KYRGYZSTAN

**Abstract:** The method of processing and analysis of the hydrodynamic fields of Kyrgyzstan to understand the processes in the subsurface hydrosphere occurring before, during and after seismic events is presented in the paper. For this purpose temporary raws of temperature, excess pressure and groundwater levels have been considered as variable parameter relative to the stress-strain mode of the Earth, as well as atmospheric phenomena influenced object.

**Keywords:** the geodynamic situation, strain waves, destruction of the lithosphere, earthquake sources, seismic hydrogeological monitoring, information retrieval set, the cumulative effect, geochemical characteristics, hydrodynamic parameters, fluctuation amplitude, quick return.

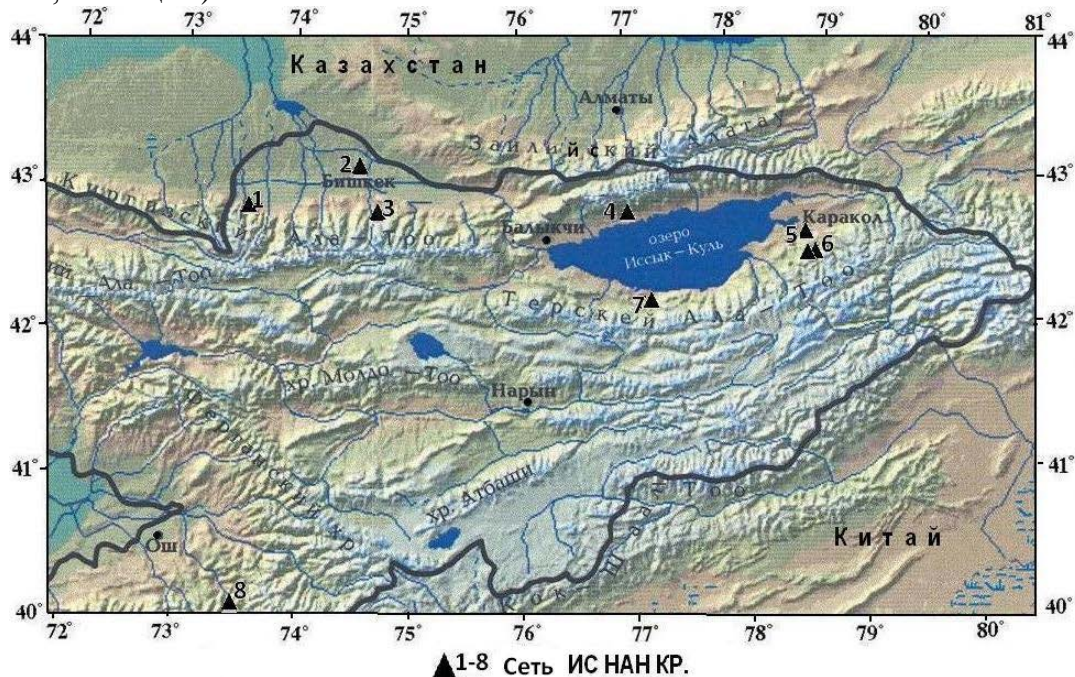
**Состояние вопроса.** Известно, что представление о динамическом режиме конкретного участка земной коры лежит в основе прогнозных оценок о пригодности той или иной территории для расселения людей и возведения промышленно-гражданских сооружений. Выходом из этого положения может служить выявление функциональных

связей, доступных непосредственному определению, а также скрытых и осложнённых другими факторами на выходе. Подземные воды выступают, таким образом, в виде «чёрного ящика», у которого на выходе аномалии в физико-химических показателях, а внутри – гидродинамические процессы, подвластные по временным вариациям как объективной реальности непосредственному улавливанию.

Сведения о гидрогеодинамических (ГГД) параметрах для прогноза сильных землетрясений приводятся во многих работах [1-7], согласно которым в этом поле содержится богатая информация о процессах, происходящих в земной коре. В них выявлено, что динамика их перестройки в период подготовки и после свершения землетрясений определяется характером геодинамического развития структур: например, на Северном Кавказе коллизионным, в Байкальском регионе - рифтовым, на Камчатке и Курильских островах - субдукционным режимом, сформировавшим неоднородности в геологическом строении и гидрогеологических условиях, а также проявления современных движений различной интенсивности.

Нашими многолетними наблюдениями за подземными водами, циркулирующими на глубинах от 120 до 1500 м, а также за почвенным газом в Кыргызстане, установлено, что ход их временных рядов изменчив и по Р-Т условиям в водоносных горизонтах выделены режимобразующие факторы. К ним относятся фазовые различия лунно-солнечных приливов и сезонность источника питания, техническая регулировка режима эксплуатации скважин и активизация сейсмичности [5], которые не позволяют надёжно прогнозировать сильные землетрясения, несмотря на выявленную согласованность с ними не только изменений гидродинамических условий, но и содержаний газов, особенно, гелия, углерода и радона, а также изотопов некоторых элементов.

К настоящему времени гидродинамический мониторинг нашей республики состоит из 8-ми наблюдательных пунктов, откуда первичная информация, включая климатические сведения, в виде числовых рядов поступают в лабораторию, далее они обрабатываются на компьютере с использованием определённых статистических методов для последующего научного анализа и практического применения в решении задач прогноза землетрясений (рисунок 1, таблице 1).



**Рисунок 1.** Схема сети гидродинамического мониторинга Института сейсмологии НАН КР по состоянию на март 2015 г.: 1 - Эркин-Сай, 2 - Бишкек, 3 - Аламедин, 4 - Кара-Ой, 5 - Каракол, 6 - Джети-Огуз, 7 - Каджи-Сай, 8 - Сопу-Коргон.

Как видно из рисунка 1 и таблицы 1, сеть гидродинамического мониторинга Кыргызстана охватывает основные сейсмоактивные структуры Северного Тянь-Шаня и, фиксируя в главных чертах напряжённо-деформационное состояние земной коры, прослеживает геодинамические процессы, происходящие в отдалённых от республики регионах. В этом плане [7], на основе применения методов теории катастроф о скачкообразности появления изменений в зависимости от накопленного напряжения в земной коре, на примерах сейсмоактивной территории России, доказаны не только сходимость между режимом подземных вод и проявлениями сейсмичности с магнитудой  $\geq 6$ , но и реальная возможность прогноза сильных землетрясений.

Учитывая, что подземные воды чувствительны не только к изменениям атмосферных процессов, но и к напряжениям в водосодержащих породах за счёт взаимодействия структурных блоков, нами решаются следующие задачи:

- оценка чувствительности Р-Т параметров подземных вод к изменениям гравитационного поля Земли, формирующегося под воздействием Луны и Солнца, а также энергии Земли на примере произошедших землетрясений;
- разделение вариаций гидродинамических полей по условиям формирования, т.е. по режимообразующим факторам с помощью данных атмосферного давления (Р) и уровней (Н) вод в четвертичных отложениях, а также избыточного давления ТМВ «Кара-Ой» и «Джеты-Огуз», находящихся в различных гидрогеологических структурах - артезианском бассейне и гидрогеологическом массиве соответственно;
- разграничение порогов в реакции гидродинамических параметров на закономерные природные циклы и случайные величины, связанные с сейсмическими событиями.

Таблица 1.

### Основные параметры гидродинамических объектов Кыргызстана.

№ п/п	Наименование объекта	№ скважины/ глубина, м	Определяемые параметры
<b>Гидродинамическая сеть Института сейсмологии НАН КР</b>			
1.	Эркин-Сай	скв.1441/300	Уровень воды ( $H_{\text{воды}}$ , м)
2.	Бишкек (территория ИС НАН КР)	скв. 1240/1100	Уровень воды ( $H_{\text{воды}}$ , м)
3.	Аламедин	скв. 915/507	Дебит ( $Q$ , л/сек), температура ( $T^{\circ}\text{C}$ ), Избыточное давление (Р) воды
		скв. 909/191	Уровень воды ( $H_{\text{воды}}$ )
4.	Кара-Ой	скв. 2489/1500	Дебит ( $Q$ , л/сек), температура ( $T^{\circ}\text{C}$ ), избыточное давление (Р) ТМВ
		скв. 1088/110	Уровень воды (Н), атмосферное давление( $P_{\text{атм}}$ ), влажность воздуха
5.	Каракол	скв. 1756/ 1500	Дебит ( $Q$ , л/сек), температура ( $T^{\circ}\text{C}$ )
6.	Джети-Огуз	скв. 6/163	$T^{\circ}\text{C}$
		скв. 20/520	$T^{\circ}\text{C}$
7.	Каджи-Сай	скв. 1111/1500	$T^{\circ}\text{C}$
8.	Сопу-Коргон	родник	$T^{\circ}_{\text{воды}}$ , $Q$ (расход, л/сек)

**Методика обработки и научного анализа информации** основывается на представлениях о пульсирующем дыхании Земли и теории отражения, а также сопоставляются с аналогичными работами, проведёнными в других регионах. В Кыргызстане

с позиции системного подхода гидродинамическая обстановка в подземных водах на всём протяжении эволюции развития структур продолжает оставаться открытой средой, где непрерывно в определённой цикличности происходит обмен веществом и энергией. Впервые об этом высказали многие исследователи [1-4, 6], в соответствии с которыми, а также с учётом того, что ГГД поле распространено повсеместно и содержит полезную информацию, для повышения достоверности проводимых исследований способы обработки усовершенствованы. Это исходит из того, что в динамических системах, каковыми являются подземные воды, кроме компонентов и энергии, фиксируются в виде чисел потоки информации, носящие различный характер в зависимости от интенсивности влияния внешнего импульса: поступающие сведения подвергаются обработке статистическим методом, заключающегося в вычислении среднеквадратичного отклонения ( $\pm 2\sigma$ ) от устойчивого фонового значения ( $x_1$ ), дисперсии ( $S$ ) и параметра нормирования ряда для установления доверительного интервала. Этим самым они - набор исследуемых параметров с некоторым количеством признаков, преобразованные во временные ряды, представляют собой не только средство учёта, но и банк данных, позволяющий выявить причинно-следственные связи между компонентами, а также с вмещающей средой, находящейся как в одной, так и в разной тектонической структуре.

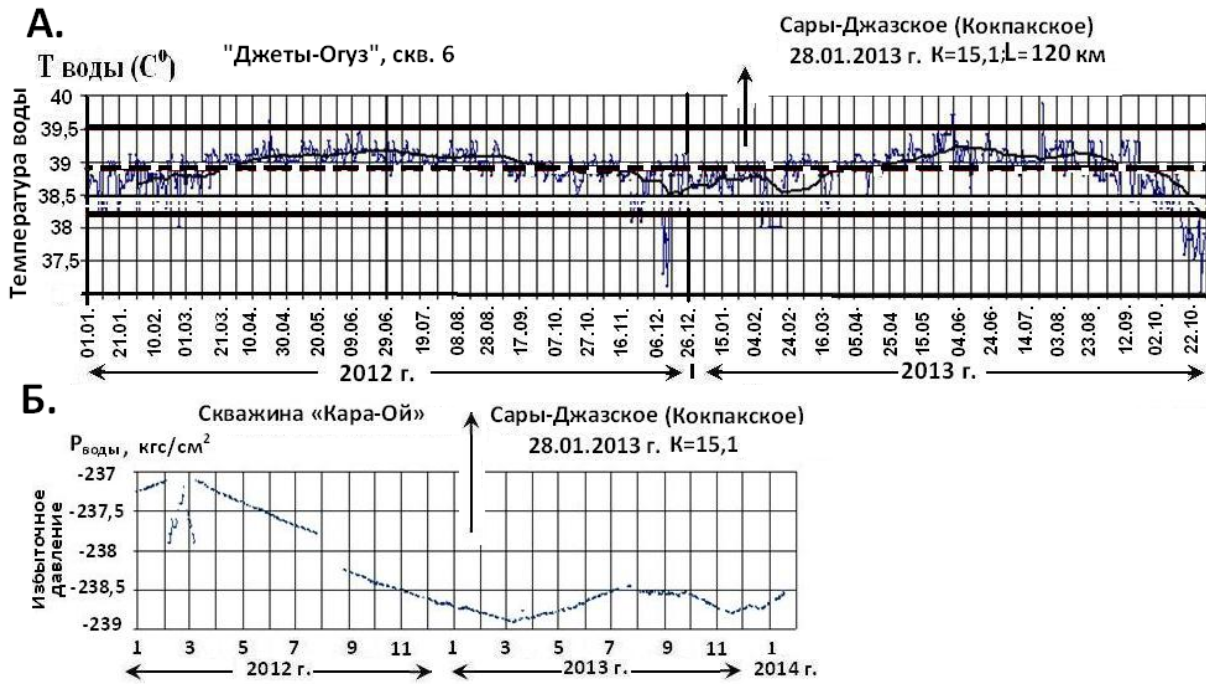
Поэтому при поисках и выяснении основных причин в колебаниях гидродинамических параметров использованы значения меры рассеивания и функции корреляции, дисперсии, амплитудно-частотной характеристики, коэффициентов вариации, а также среднеквадратичные отклонения и коридор доверия в скользящем окне с длительностью 365 и более суток. Максимальная амплитуда изменения ГГД поля, связанная с действием атмосферного давления и приливообразующих сил, рассчитывается с помощью коэффициентов барометрической и приливной эффективности, а ранжирование информационной эффективности ГГД поля - с периодом сейсмической активизации.

Отправными положениями служит тот факт, что деформации порово-трещинного пространства возникают за счёт воздействия внешних и внутренних сил. К первым относятся гравитационные поля Луны и Солнца, а также ход атмосферного давления, с вариациями которого связано изменение столба воды в разрезе, а ко вторым - геодинамические напряжения, возникающие в геолого-структурных блоках земной коры.

**Чувствительность гидродинамических параметров подземных вод.** В подземных водах регистрируются даже смещение почвы с частотой менее 0.01 Гц, не говоря о суточном ходе атмосферного давления и вариациях напряжения в горных породах, что позволяет принять их реальным инструментом для улавливания процессов, происходящих в глубинных зонах земной коры. Так, по данным [4, 8], с их помощью фиксируют, прежде всего, инфранизкочастотные упругие волны, представляющие серьёзную проблему для сейсмоприёмника, у которого нижний порог передачи ограничен.

На рисунках 2 А-Б, показан временный ход гидродинамических параметров ГДО Иссyk-Кульской впадины, где видны их реакции не только к фазовым состояниям гравитационного поля Луны и Солнца, но и на сезонные факторы. Так, по временным вариациям уровня воды в скважине глубиной 125 м и атмосферного давления на ГДО «Кара-Ой» можно сказать о взаимодействии двумерного фазового пространства, образованного геологической средой и гидрогеологическими условиями в одной геодинамической системе. Временный ход избыточного давления ( $P$ , кгс/см<sup>2</sup>), имеющий противофазное поведение к гравитационным полям Луны и Солнца, находит закономерные связи с сезонными явлениями (рисунок 2Б).





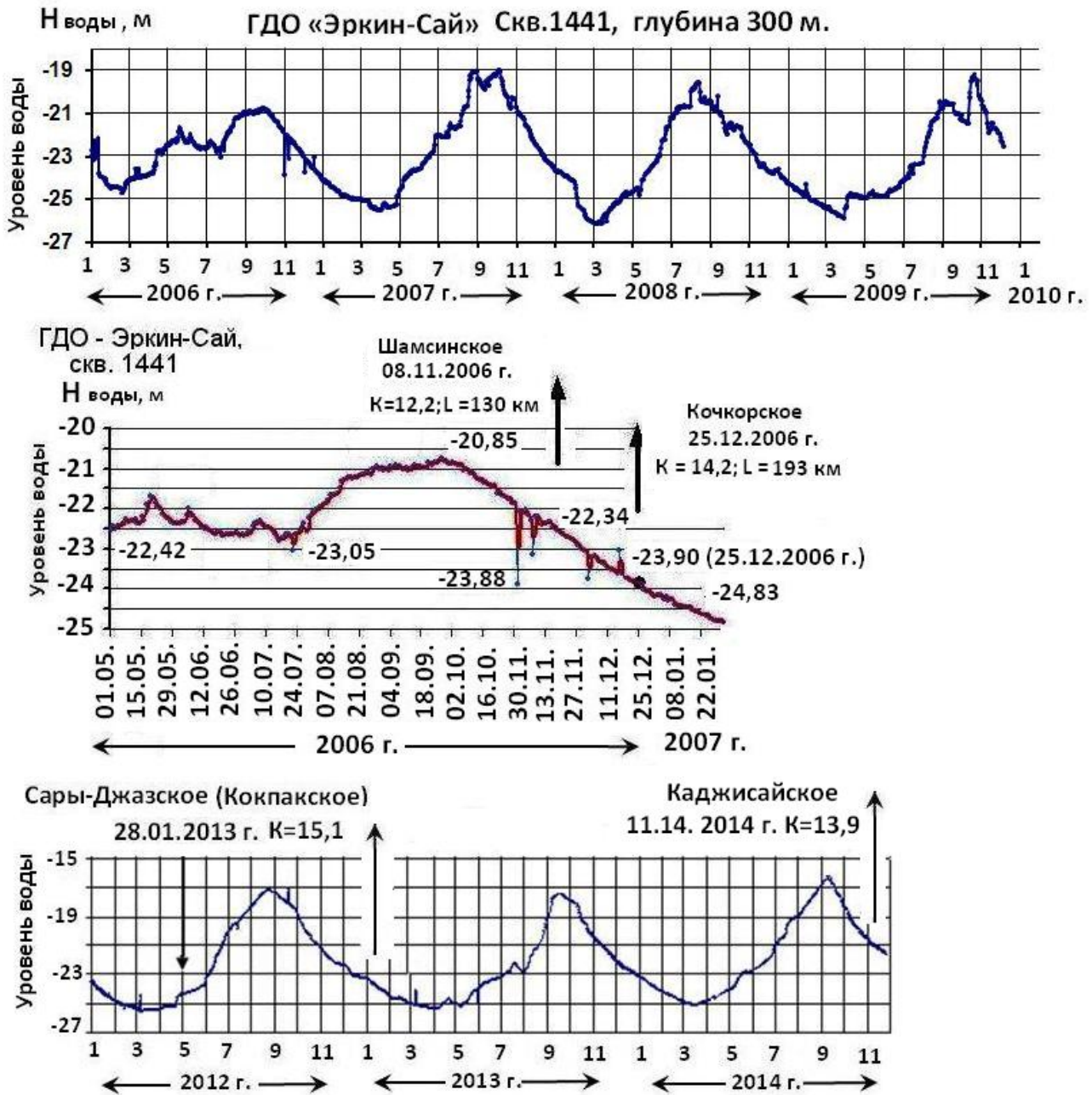
**Рисунок 2.** Временные вариации: А - температуры по ГДО скважины «Кара-Ой» и Б - избыточного давления по ГДО скважины «Кара-Ой».

На рисунках 3-4 представлены временные графики температуры и уровней воды за 2012-2014 гг. по ГДО «Сопу-Курган» и «Эркин-Сай», по которым видно, что на них чётко проявляется сезонная зависимость, причём на этом фоне перед землетрясениями с энергетическим классом (К) более 12 наблюдаются всплески температуры, уровней и расхода подземных вод.

В целом для этого ГДО характерен ступенчатый ход развития, направленный в сторону как понижения, так и повышения длительностью от 15-20 до 30 дней, причём температура в течение июнь - августа, изменялась на 0.1-0.3 °C, такой же формой продолжает свой режим до конца года, но по графикам температуры и расхода в роднике, где ожидают сильные землетрясения, по сейсмологическим данным, однозначные связи с процессами сейсмической активизации отсутствуют.



**Рисунок 3.** Вариационные кривые временных рядов расхода и температуры воды за 2012 - 2014 гг. по ГДО «Сопу-Курган».

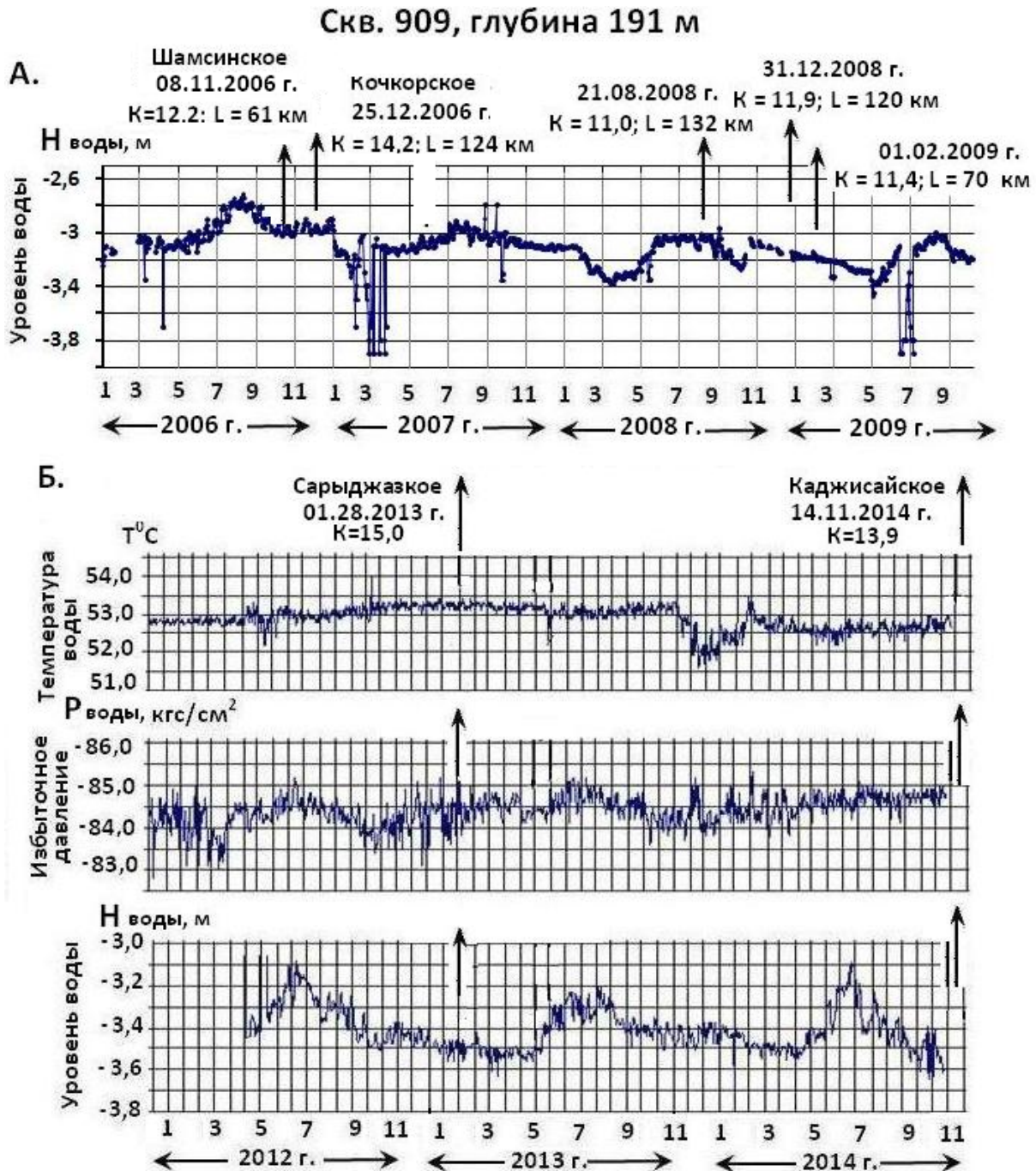


**Рисунок 4.** Вариационные кривые временных рядов уровней воды за 2006-2010 гг. и 2012-2014 гг. по ГДО «Эркин-Сай».

Что касается ГДО «Эркин-Сай», то уровень воды в скважине, залегая на глубинах от 15.8 до 25.9-26.1 м, колеблется с амплитудами, составляющими в среднем 9.5-10.2 м. Он, имея волнообразный характер, наиболее близко поднимается к дневной поверхности в летне-осенний период, а глубокое снижение приходится на зимнее время.

Ниже кратко освещены сведения скважины 909 «Аламедин», где в целом импульсное понижение уровня на 15 см и повышение дебита (л/сек) от 1.5783 до 1.6128 сопровождалось колебаниями избыточного давления (кгс/см<sup>2</sup>) от 86.2 до 84.4 кгс/см<sup>2</sup> (рисунок 5).





**Рисунок 5.** Временные вариации избыточного давления ( $P$ , кгс/см<sup>2</sup>) уровня воды в скв. 909 «Аламедин» за 2006-2009 гг. и 2012-2014 гг.

В вариациях уровня вод в скважине «Бишкек», наоборот, отражаются прежде всего преобладание взаимодействия геологической среды внутри активной геодинамической системы с гидрогеологическими условиями, поскольку данная обстановка отмечена перед землетрясениями с  $K \geq 11,0$ , произошедших в 2006 г. При этом перед землетрясениями с  $K \geq 12$ , произошедшими в 2012-2014 гг., на фоне сезонной цикличности появляются новые колебания различной формы и контрастности, что определяется, скорее всего, природной неоднородностью развития изменения напряжений тектонических структур и происходят индивидуальные гидродинамические эффекты [8].



**Рисунок 6.** Временные вариации уровня воды в скв. 1240 ГДО «Бишкек» в 2006-2007 гг.

По вариационным кривым ГГД полей, построенным в ретроспективе и режиме реального времени, природа их формирования по режимообразующим факторам разделяется на закономерные циклы и случайные колебания, т.е. в районе наблюдений, в соответствии с которыми, действительно, проявляются периоды квазиустойчивого и неустойчивого состояний. В первом случае ГГД поле не подвержено деформационным процессам, во-втором - наоборот, в большинстве своём, взаимодействие блоков завершается подземными толчками.

**Гидродинамические циклы.** Для этого первичная информация обрабатывалась и в процессе рассчитывался среднеарифметический многолетний уровень подземной воды. Далее с помощью фильтра были выделены его высокочастотные компоненты, у которых сезонные амплитуды колебания отсутствуют. После такой обработки временные ряды содержат колебания высокочастотного уровня с периодом от 2 до 10 дней, что свидетельствует о завершении взаимосвязанных циклических процессов внутри одной геодинамической системы. Например, доказаны корреляционные взаимосвязи между уровнем подземных вод (УПВ) и атмосферным давлением (АД), которые отчётливо согласуются с барометрическим коэффициентом (отношение УПВ/АД), тогда как свободный член отражает факторы, не связанные со внешними условиями.

На рисунке 5, где иллюстрируются графики УПВ, показано, что в гидрогеологической системе временами возникают новые траектории в виде скачкообразных вариаций, с одной стороны, свидетельствующие о реакции ГГД поля на изменение внешних и внутренних условий, а с другой - о возникновении взаимодействия самих структурных блоков в земной коре. Это охарактеризовано теснотой связи Н-Р, выявленной коэффициентом корреляции, который в первом случае равняется 0.991, когда его траектория испытывает влияние атмосферного давления и свидетельствует о квазиустойчивом режиме, во-втором - скачкообразность отклонения избыточного давления, связанная с внутренней силой, постепенно занимает такое положение, где количество переходов и амплитуда колебания становятся различительным относительно активизации напряжений в земной коре.

Для неустойчивого гидрогеологического состояния свойственен достаточно низкий коэффициент корреляции, т.е. равный 0.204, а линейный тренд определялся формулой:  $H=0.2422P+1.227$ .

Итак, временный ход Н-Р по каждой наблюдательной скважине позволяет оценить геодинамическую обстановку блоков: в полях, если корреляционные связи и



барометрический коэффициент имеют положительные значения, то окружаемые скважину блоки сейсмически активны, т.е. система УПВ-АД, имея реальные реакции на характер и интенсивность сейсмического развития блоков в районе наблюдений, являются результатом цикличности в соотношениях внутренних и внешних – тектонических и экзогенных факторов. Так, через сложную систему формирования, распространения и разгрузки подземных вод, можно проследить не только проявление механической связи между параметрами, но и функциональных зависимостей, осложнённых реакцией информационной «памяти». Дело в том, что, по нашему мнению, на характер перехода из одного равновесного состояния в другое определяющее значение имеет не только входное действие режимообразующих факторов, но и само положение наблюдаемого гидрогеологического разреза. В нашем случае - входное действие - это порционное поступление и удаление веществ, а информационная память - следствие процесса их реакции, тогда как выходной канал - непосредственная фиксация по времени, длительности и амплитуды колебания определённого качественного набора и количественных содержаний исследуемых параметров. При этом, если недонасыщенность поступающих ионов в гидрогеологический разрез пополняется за счёт водовмещающей среды, то энергия водного потока и земли самостоятельно расходуется на их вынос и перенос до саморегуляции качественного состояния подземных вод.

Предлагаемая методика обработки и научного анализа данных гидрогеодинамического мониторинга в Кыргызстане, которая отражает периоды накопления напряжений в земной коре, вне сомнения, позволяет по-новому подойти к интерпретации получаемой информации для слежения за сейсмической обстановкой как в региональном плане, так и по локальным геолого-тектоническим структурам.

### Литература

1. Киссин И.Г. Гидрогеологический мониторинг земной коры //Физика Земли, 1993, №8. С. 59-69.
2. Гидрогеодинамические предвестники землетрясений. М.: Наука, 1984. С. 50-64.
3. Оролбаев Э.Э. Гидрогеологическая скважина как объёмный деформограф //Мат-лы X конф. молодых учёных. Фрунзе, 1988. С.138-139.
4. Абдуллаев А.У., Кайев Ю.А., Гребенникова В.В. О связи химического состава самоизливающихся подземных вод с режимом эксплуатации скважин в сейсмоактивных районах //InlandEarthquake. Urumqi, Vol. 18, №4, 1991.
5. Тукешова Г.Е. Соотношение между температурой воздуха и температурой воды самоизливающихся скважин на Алматинском прогностическом полигоне //ҚР ҰҒА–ның Хабарлары. Геологиялық сериясы, Алматы, №4, 2010. С. 82-86.
6. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. – 2005. Т.46. № 11. С. 1176-1190.
7. 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. №7. С. 19-24.
8. 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.

*Рецензент: доктор ф.-м. А.М. Муралиев*