

химическими свойствами элементов и их соединений, обладающих различными формами миграции и степенью подвижности.

Литература

1. Ибрагимов Д.С., Авганов А.Т. Геотектонические особенности распространения термальных вод Иссык-кульской впадины //Вопросы геохимии и динамики подземных вод Средней Азии. – Ташкент: ФАН. 1979, вып.8. С. 13-22.
2. Иманкулов Б.И., Кендирбаева Дж.Ж., Кожакова Н.Т. Разломная гидрогеологическая система Кыргызского Тянь-Шаня как отражение влияния эндогенных и экзогенных факторов //Известия НАН РК, № 2. – Алматы. 2006. С.44-45.
3. Кендирбаева Дж.Ж. Условия формирования химического состава термальных вод Иссык-Кульского артезианского бассейна //Гидрогеологические исследования межгорных впадин. – Фрунзе: Илим, 1985. С. 168-177.
4. Крайнов С.Р. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1988. С. 172-191.
5. Матыченков В.Е., Иманкулов Б. Минеральные воды Киргизии. – Фрунзе: Илим, 1987. 235 с.
6. Посохов Е.В. Химическая эволюция гидросферы. – Л.: Гидрометеиздат. 1981. 334 с.

УДК 551.243+551.2

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

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация: В данной работе приведены основные результаты гидрогеологических исследований, проводимых Институтом сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, для прогноза сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня. Установлено, что наблюдательная гидрогеологическая сеть, в пределах данной территории, является информативной в процессе подготовки сильных землетрясений.

Ключевые слова: методика обработки, режим, гидродинамические поля, процессы, периоды сейсмических событий, временные ряды, температура, избыточное давление, уровень, переменный параметр, напряженно-деформационное состояние, атмосферные явления

ТҮНДҮК ТЯНЬ-ШАНДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮ АЛДЫН АЛА АЙТУУ БОЮНЧА ЖҮРГҮЗҮЛГӨН ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫК ИЗИЛДӨӨЛӨРДҮН НЕГИЗГИ АТЫЙЖАЛАРЫ

Кыскача мазмуну: Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Сейсмология институту тарабынан Түндүк Тянь-Шандын аймагындагы күчтүү жер титирөөлөрдү божомолдоо үчүн жүргүзүлгөн гидрогеологиялык изилдөөлөрдүн негизги жыйынтыктары келтирилген. Аталган аймактын чегиндеги байкоочу гидрогеологиялык түйүн күчтүү жер титирөөлөрдү даярдоо процессинде маалыматтык болуп саналаары белгиленген.

Негизги сөздөр: иштеп чыгуу методикасы, режим, гидродинамикалык талаа, процесстер, сейсмикалык окуялар мезгилдери, убакыт катарлары, температура, артыкбаш басым, деңгээл, өзгөрүлмөлүү параметр, чыңалган-деформациялык абал, атмосфера кубулуштары.

THE BASIC RESULTS OF HYDROGEOSEISMOLOGICAL INVESTIGATIONS OF KYRGYZSTAN IN PURPOSE OF STRONG EARTHQUAKES PREDICTION IN THE NORTHERN TIEN SHAN

Abstract: The main results of hydrogeological investigations conducted by the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic for the prediction of strong earthquakes in the Northern Tien Shan are presented at this paper. It is found that the observational network of hydrological stations within given territory is informative during the process of preparation of strong earthquakes.

Keywords: processing method, mode, hydrodynamic fields, processes, seismic event periods, time series, temperature, overpressure, level, variable parameter, the stress-strain state, atmospheric phenomena

Теоретической основой применения гидрогеологических параметров в качестве предвестников землетрясений служит представление о связи изменений гидрогеологического режима в наблюдаемых объектах с напряжённо-деформационным состоянием земной коры, обусловленной постепенным накоплением напряжений, сопровождающихся аномальными изменениями гидрогеологических параметров.

Исследователями Кыргызстана выявлено, что большинству сильных ($M_w \geq 5,0$) и ощутимых землетрясений предшествовали краткосрочные и среднесрочные изменения по широкому комплексу гидрогеологических параметров: pH, HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , CO_2 , He, Rn, He, Q, H, P, $T^{0\text{C}}$ и др. В 1986 г. в Кыргызстане была сделана первая попытка прогноза места, силы и времени ожидаемого сильного землетрясения по комплексу предвестников, в число которых также входили гидрогеологические. За три года (с 1986 г.) до Ташбашатского землетрясения 05.03.1989 г., $K_R=12,2$, на Бишкекском сейсмопрогностическом полигоне было зафиксировано постепенное развитие предвестников по различным полям (рисунок 1) [1]:

- в течение нескольких лет, между очагами Беловодского 1885 г. и Кемино-Чуйского 1938 г. Землетрясений с $M_w=6,9$, образовалась сейсмическая «брешь» протяженностью около 60 км;
- наблюдался аномальный ход кривой деформаций и наклонов блоков земной коры;
- отмечались изменения относительного электросопротивления (ρ_k) по данным дипольного электророндирования (станция №2 Альплагерь, участок Ала-Арча);

- разностного геомагнитного поля ΔZ по геомагнитной станции (ГМС) Новостройка относительно базового пункта ГМС Таш-Мойнок;
- на месторождениях термоминеральных вод (ТМВ) Иссык-Ата и Аламедин, разнонаправленные колебания в концентрациях гидрокарбоната, хлора, кальция и вариации пьезометрических уровней и давлений по скв. 1094 и 1095 г. Бишкек свидетельствовали о нарушении источников режима не только глубоких зон, но и неглубоко залегающих водоносных горизонтов.

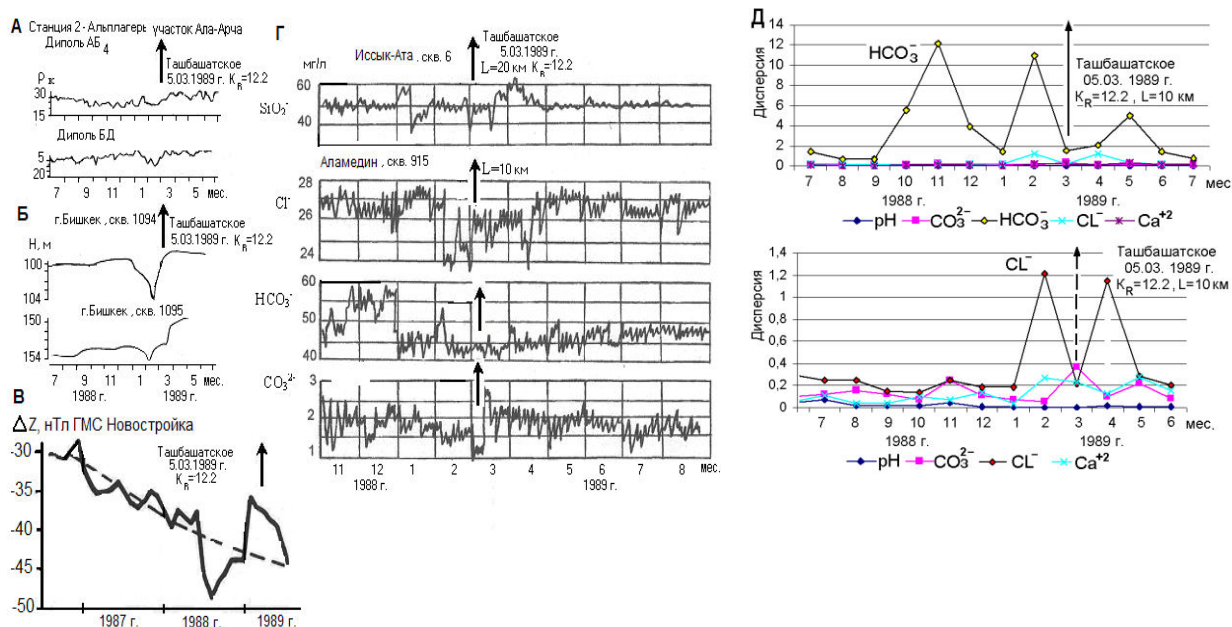


Рисунок 1. Изменение геофизических и гидрогеологических полей во время Ташбашатского землетрясения 1989 г., $K_R=12,2$ [1]: **А**–относительного электросопротивления ρ_k по данным дипольного электрозондирования (станция №2 Альплагер, участок Ала-Арча); **Б**–уровня подземных вод (г. Бишкек, скв. 1094, 1095); **В**–разностного геомагнитного поля ΔZ (нТл) по ГМС Новостройка относительно базового пункта ГМС Таш-Мойнок; **Г**–содержания компонентов ТМВ Аламедин (скв. 915) и Иссык-Ата (скв.6-к); **Д**–среднемесячных дисперсий компонентов ТМВ Аламедин (скв.915).

В таблице 1 приведены примеры изменений гидрогеохимических и гидродинамических параметров в период подготовки пяти землетрясений с $M_w \geq 4,8$. Расположение гидрогеологической сети ИС НАН КР показано на рисунок 2, на котором красным цветом указаны даты рассматриваемых землетрясений. Как видно из таблицы 1, основным изменения в ТМВ отмечены по Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , pH, Ca^{+2} , CO_2 , Q, H, P, и T^0C . В то же время, часть землетрясений произошли без предваряющих их гидрогеохимических и гидродинамических изменений (даже при близком эпицентрального расстоянии пунктов наблюдений).

Таблица 1.

Изменения гидрогеохимических и гидродинамических параметров в период подготовки землетрясений $M_w \geq 4,8$

Название землетрясения, дата	M_w	ГГХС* и ГДО ИС НАН КР	Расстояние (L, km)	T^0C	Q	H	P	pH	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	GF	He_p

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сарыкамьш 05.06.1970	6,7	Джеты-Огуз [4]	30	+	+										
Жаланаш-Тюп 24.03.1978	6,9	Иссык-Ата []	300	-	+		+								+
Каджисай-1 (Барскоон) 05.07.1980	5,6	Иссык-Ата*	200	-	-		-	-	-	-	+	+	-		
Мерке-2 (Луговское) 22.05.2003	5,5	Эркин-Сай	83			+									
		Аламедин*	165	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
Арпатекир 16.01.2004	4,8	Иссык-Ата*	173	-	-		-	+	+	-	-	-	-		
		Аламедин*	22	-	-		-	+	+	+	+	+			
			35	-	+		-	-	-	-	-	-	-	-	

Примечание: ГГХС – гидрогеохимическая станция, ГДО – гидродинамический объект, комплексные гидрогеохимические и гидродинамические станции отмечены *; (+)аномальные изменения, (-) нет изменений, без знака (+) или (-) параметр не определялся.

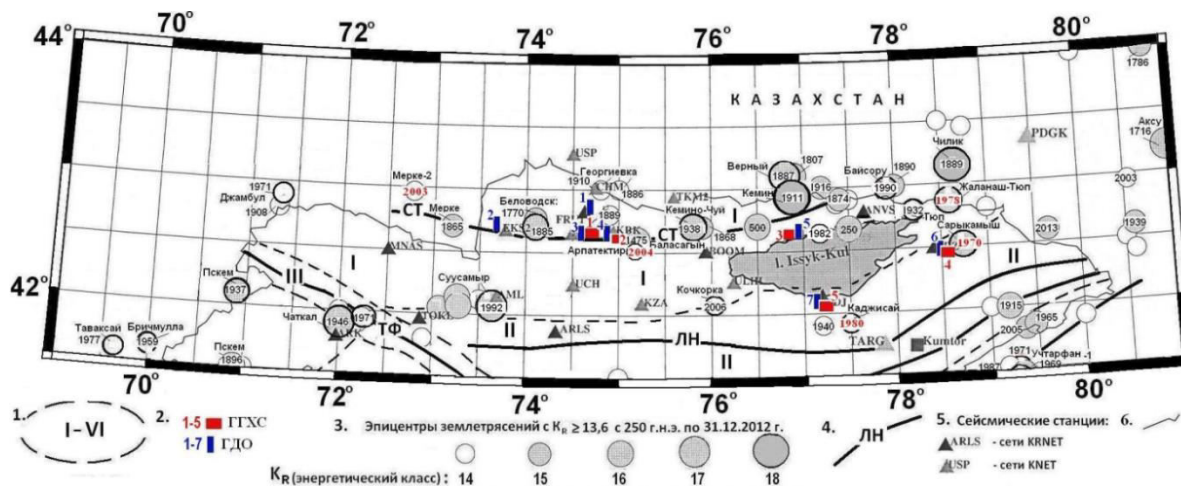


Рисунок 2. Схема гидрогеологической сети ИС НАН КР. 1). Сейсмические зоны: **I.** Северо-Тянь-Шаньская, **II.** Срединно-Тянь-Шаньская; **III.** Таласо-Ферганская. 2). Гидрогеологическая сеть: ГГХС-1. Аламедин, 2. Иссык-Ата, 3. Кара-Ой, 4. Джеты-Огуз, 5. Каджи-Сай; ГДО-1. Бишкек, 2. С/ст. Эркин-Сай (скв.1441), 3. Аламедин, 4. Иссык-Ата, 5. Кара-Ой, 6. Джеты-Огуз, 7. Каджи-Сай. 3). Эпицентры землетрясений с $K_R \geq 13,6$ (по данным Института сейсмологии НАН КР), произошедшие с исторических времен по 2013 г. 4). Разломы: **ТФ** – Таласо-Ферганский, **СТ** – Северо-Тяньшаньский, **ЛН** – Линия Николаева. 5). Сейсмические станции. 6). Государственная граница Кыргызстана.

Сопоставление простирания областей подготовки сильных землетрясений: Жаланаш-Тюп 1978 г. $M_w=6,9$, Каджисай-1 (Барскоон) 1980 г. $M_w=5,6$, выделенных по данным сейсмического режима и изменению параметра V_p/V_s , с данными ГГХС и ГДО показало, что положительные эффекты наблюдались на тех станциях и объектах, которые находились в пределах областей подготовки или в непосредственной близости от них [2, 3]. Эти эффекты, в большинстве случаев, имели 20-50% изменения от фонового уровня содержания компонентов ТМВ [4], от 1 до 3°C по температуре, от 0,5 до 2 м по уровню (Н, м) и от 20 до 100% и дебиту (Q, л/сек). Колебания отличались по форме изменений (бухты, всплески и

т.д.) и длительности их проявления. Так, в области подготовки Сарыкамышского землетрясения 1970 г. с $M_w=6,7$, в 30 км от эпицентра на месторождении ермальных вод Джеты-Огуз, в скв. 20 глубиной 520 м, выводящей субтермальные воды из плотных сланцев, партией «Средазгеоинвод» в течение 2-х месяцев до события, зафиксировано повышение температуры воды от 6,5 до 26,6⁰С, дебит увеличился в 13 раз - от 0,006 до 0,077 л/сек. В скв. 6 глубиной 163 м, заложенной в трещиноватых известняках карбона, увеличилась температура воды на 1⁰С - от 24,5⁰ до 25,5⁰С, дебит в 1,5 раза - от 2,63 до 3,26 л/сек (рисунок 3)[5].

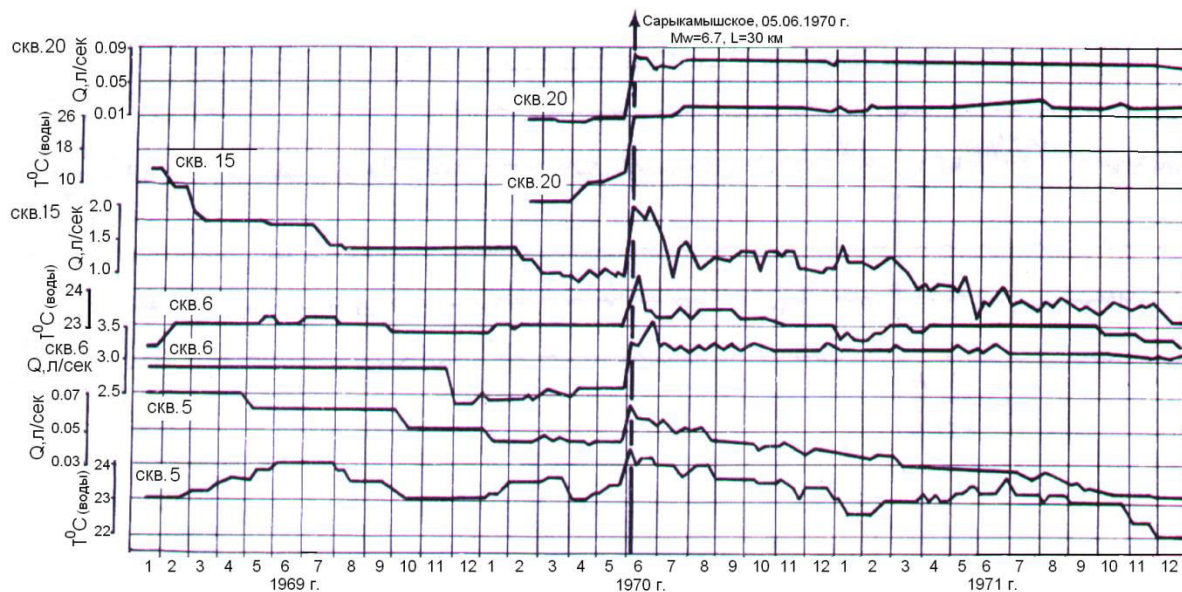


Рисунок 3. Изменения температуры и дебита термальных вод на месторождении Джеты-Огуз во время Сарыкамышского землетрясения 05.06.1970 г. с $M_w=6,7$ [5].

В период подготовки Жаланаш-Тюпского землетрясения 1978 г. с $M_w=6,9$ вблизи областей подготовки, выделенных по данным сейсмического режима и изменения параметра V_p/V_s , в 60 км от эпицентра, на месторождении термальных вод Джеты-Огуз (скв. 3 и 1) за 3 месяца до события зафиксировано повышение температуры воды на 1-3⁰С [2, 3, 6]. На месторождении ТМВ Иссык-Ата, в 300 км от эпицентра этого сейсмособытия, за 1-2 месяца до землетрясения наблюдалось уменьшение избыточного давления в скважинах на 0,2-0,8 м, которое за 8-10 дней до события сменилось на подъём (рисунок 4) [7].

Перед землетрясением Каджисай-1 (Барскоон) 1980 г. с $M_w=5,6$, на ГГХС Иссык-Ата в 200 км от эпицентра, в скв. 3-к и 6-к зафиксированы изменения по CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- и Ca^{+2} , достигающие 50% (рисунок 5) [2, 3].

Подготовка землетрясений Мерке-2 (Луговское) 2003 г. с $M_w=5,5$ и Арпатекирского 2004 г. с $M_w=4,8$ зафиксирована изменениями по ряду гидрогеохимических и гидродинамических параметров [8]. Перед землетрясением Мерке-2 (Луговское) 2003 г., в 165 км от эпицентра, на ГГХС Аламедин (скв. 915) отмечались бухтообразные изменения дисперсии с двумя максимумами по гидрокарбонату (HCO_3^-). Первый максимум (2,54) наблюдался в марте 2002 г., второй (2,51) при минимуме 0,96 - за один месяц до события. Изменения содержания других компонентов были незначительными (рисунок 6А).

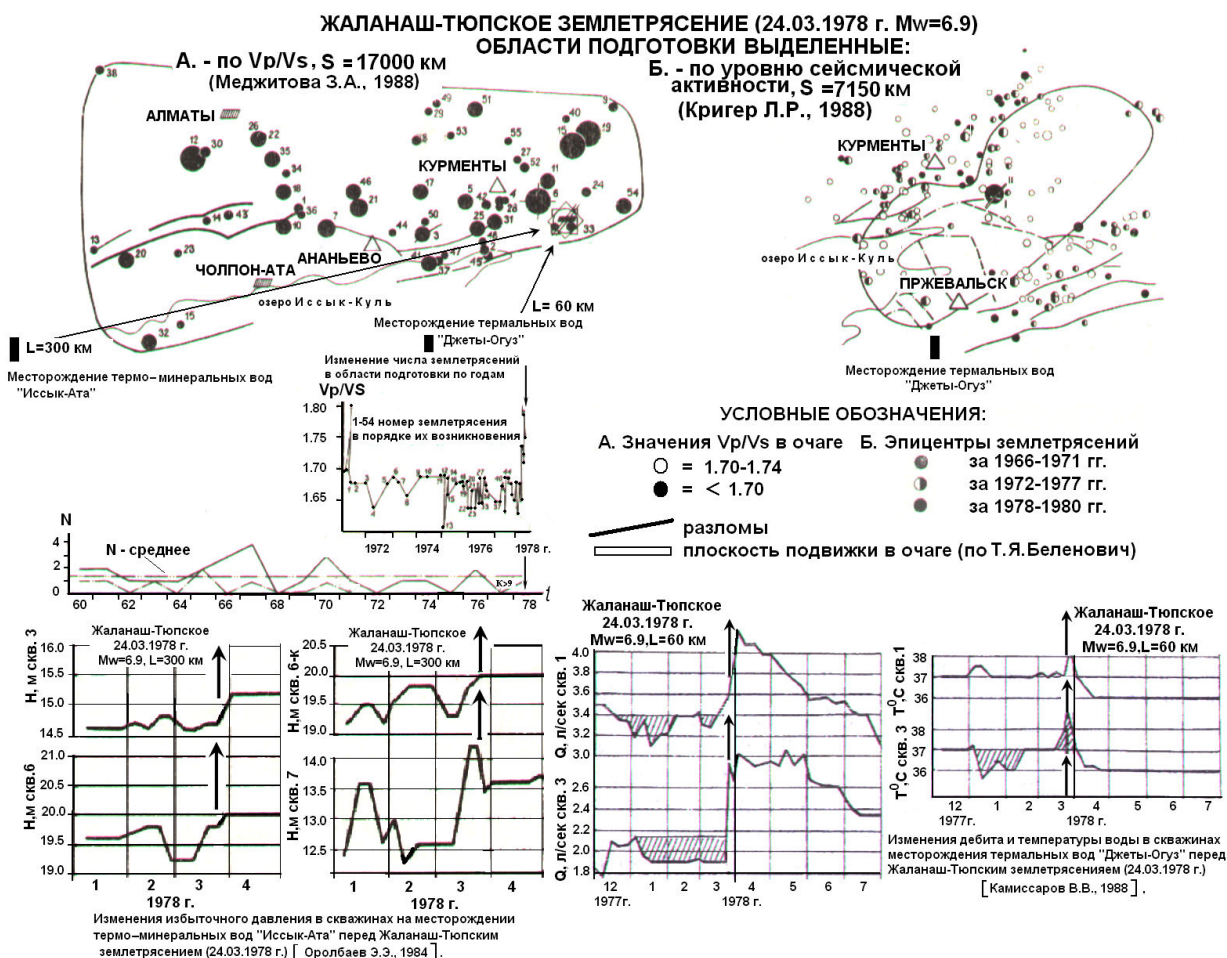


Рисунок 4. Изменения гидродинамических параметров во время Жаланаш-Тюпского землетрясением 24.03.1978 г. с $M_w=6,7$ [2, 3]: температуры, дебита термальных вод на месторождении Джеты-Огуз ($L=30$ км) и избыточного давления на месторождении ТМВ Иссык-Ата ($L=300$ км).

В скв. 1441, глубиной 300 м на ГДО Эркинсай, в 83 км от эпицентра, за один месяц до события, отмечались изменения уровня воды в виде двух импульсов: первый - как понижение до 1 м (апрель месяц), второй - дальнейшее падение уровня за два дня до землетрясения ниже 1 м (рисунок 6.Б). На ГДО Аламедин, в 165 км от эпицентра, в скв. 909 глубиной 187 м, наблюдалось резкое падение уровня воды за 13 дней (с 9.05.2003 г.) до землетрясения на 30 см (рисунок 6.Б).

В скв.3-к ГГХС Иссык-Ата, в 173 км от эпицентра землетрясения, за несколько месяцев до события зафиксированы изменения: по рН – от 9.43 (февраль) до 8.65 (начало мая), CO_3^{-2} , GF, He при незначительных колебаниях HCO_3^- и Cl (рисунок 7).

В период подготовки Арпатекирского землетрясения 2004 г. с $M_w=4,8$, в 35 км от эпицентра землетрясения в ТМВ Аламедин (скв. 915) за 6,5 месяцев до события наблюдались бухтообразные уменьшения по HCO_3^- - 43,31 (начало бухты - июль) до 34,16 мг/л (минимальное содержание - октябрь), на момент землетрясения составило - 46,97мг/л (16.01.2004 г.), а за 3 месяца до землетрясения, увеличились дисперсии по HCO_3^- - от 0,71 до 4,11 (рисунок 8А). При этом, изменения содержания ионов Cl⁻, Ca⁺² и Q (дебита воды) были незначительными (рисунок 8Б).

В 22 км от эпицентра Арпатекирского землетрясения 2004 г. на ГГХС Иссык-Ата (скв. 3-к) за 5 месяцев до события отмечались изменения по рН, Cl⁻, HCO_3^- , CO_3^{-2} , Ca⁺² (рисунок 9). В 35 км от эпицентра, в скв. 909 ГДО Аламедин, за 5 месяцев до землетрясения,

на фоне сезонных изменений, отмечено резкое снижение уровня воды на 0,7 м - от 3,2 до 3,9 м. В скв. 1441 ГДО Эркин-Сай (L=100 км) наблюдались незначительные изменения уровня воды на фоне сезонного хода (рисунок 8В).

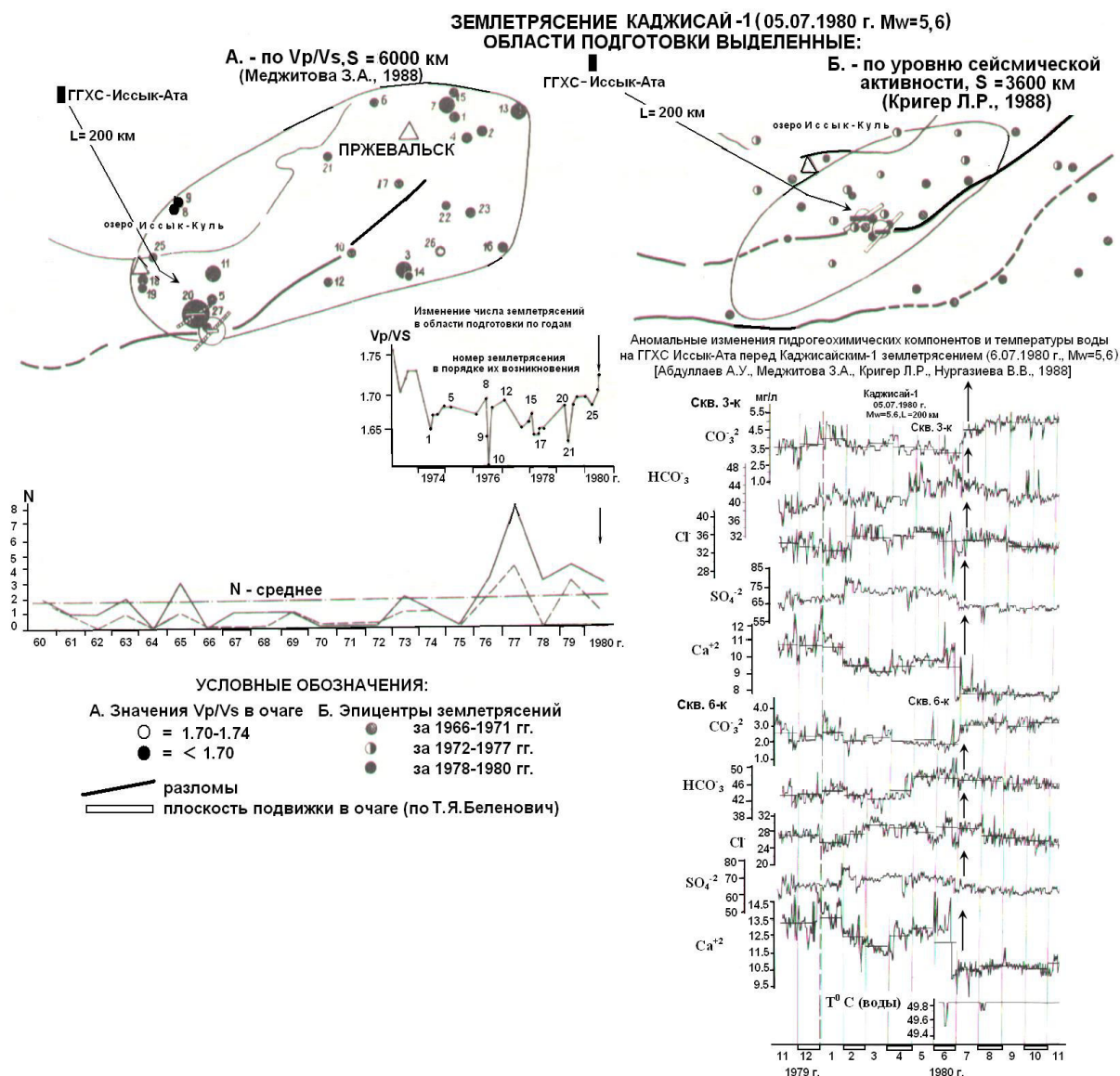


Рисунок 5. Изменения содержания компонентов ТМВ Иссик-Ата (L=200 км) во время землетрясения Каджисай-1 1980 г. с Mw=5,6 [2, 3].

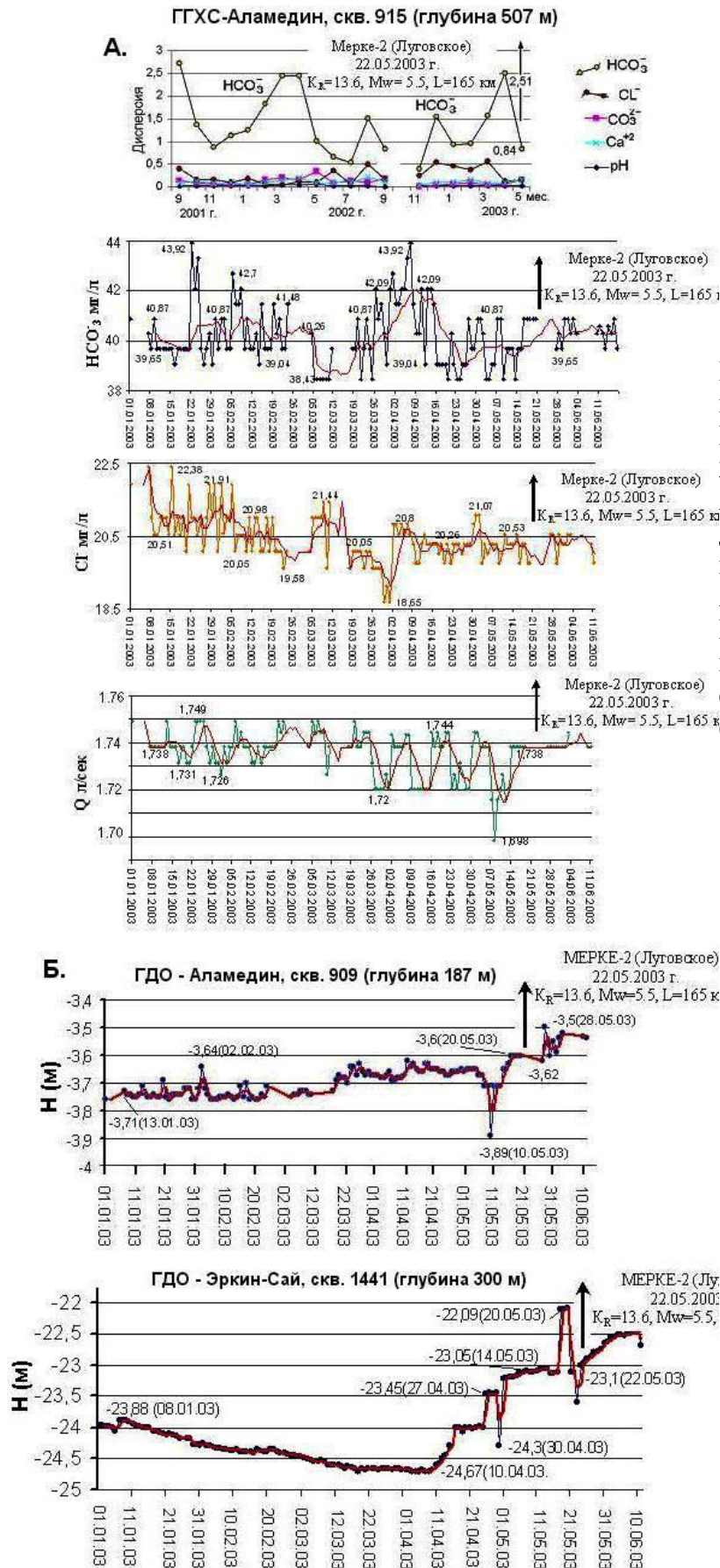


Рисунок 6. Изменения во время землетрясения Мерке-2 (Луговское) 22.05.2003 г. с $Mw=5,5$ [7]:
А. Среднемесячных дисперсий и содержания компонентов ТМВ Аламедин (скв. 915);
Б. Изменения уровня воды в скв. 909 Аламедин и в скв. 1441 Эркин-Сай. (красная линия – тренд).

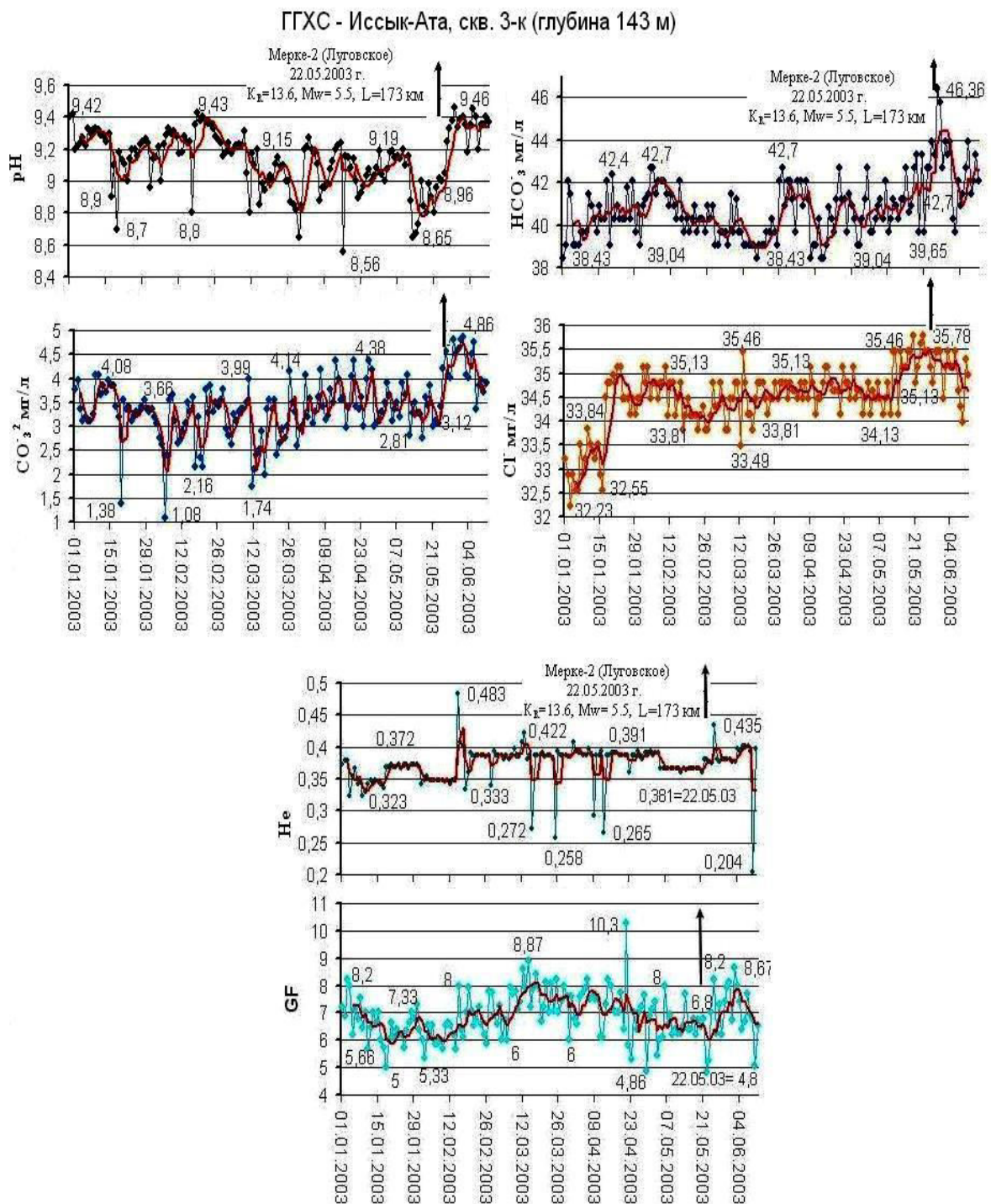


Рисунок 7. Изменения содержания компонентов ТМВ Иссык-Ата (скв. 3-к) во время землетрясения Мерке-2 (Луговское) 2003 г. с $M_w=5.5$.

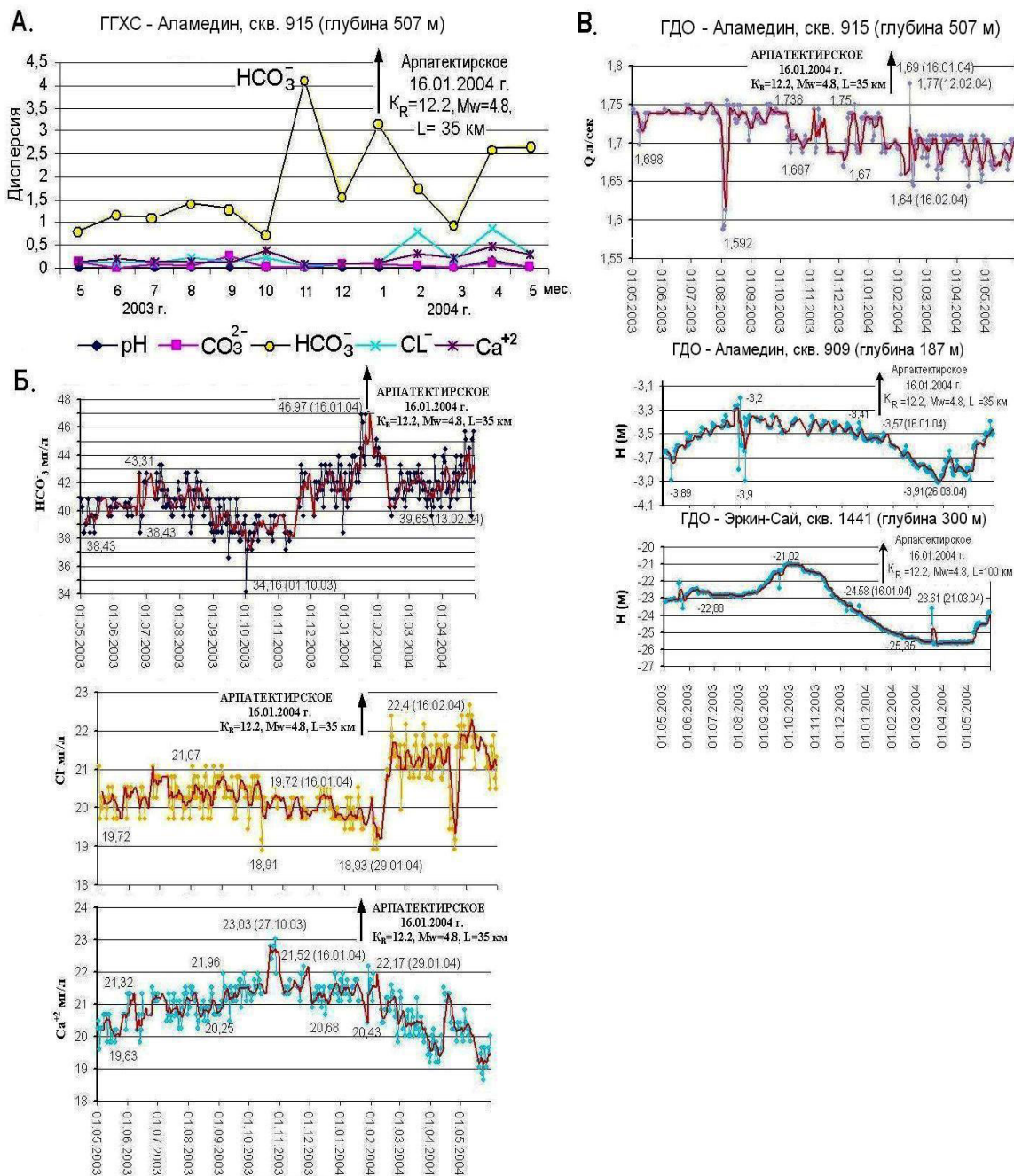


Рисунок 8. Изменения во время Арпатекирского землетрясения 2004 г. с $M_w=4,8$ на ТМВ Аламедин (скв. 915) [7]: **А.** Среднемесячных дисперсий компонентов; **Б.** Содержания компонентов; **В.** Дебита и уровня воды ТМВ Аламедин (скв. 915), ГДО Аламедин (скв. 909) и Эркин-Сай (скв. 1441).

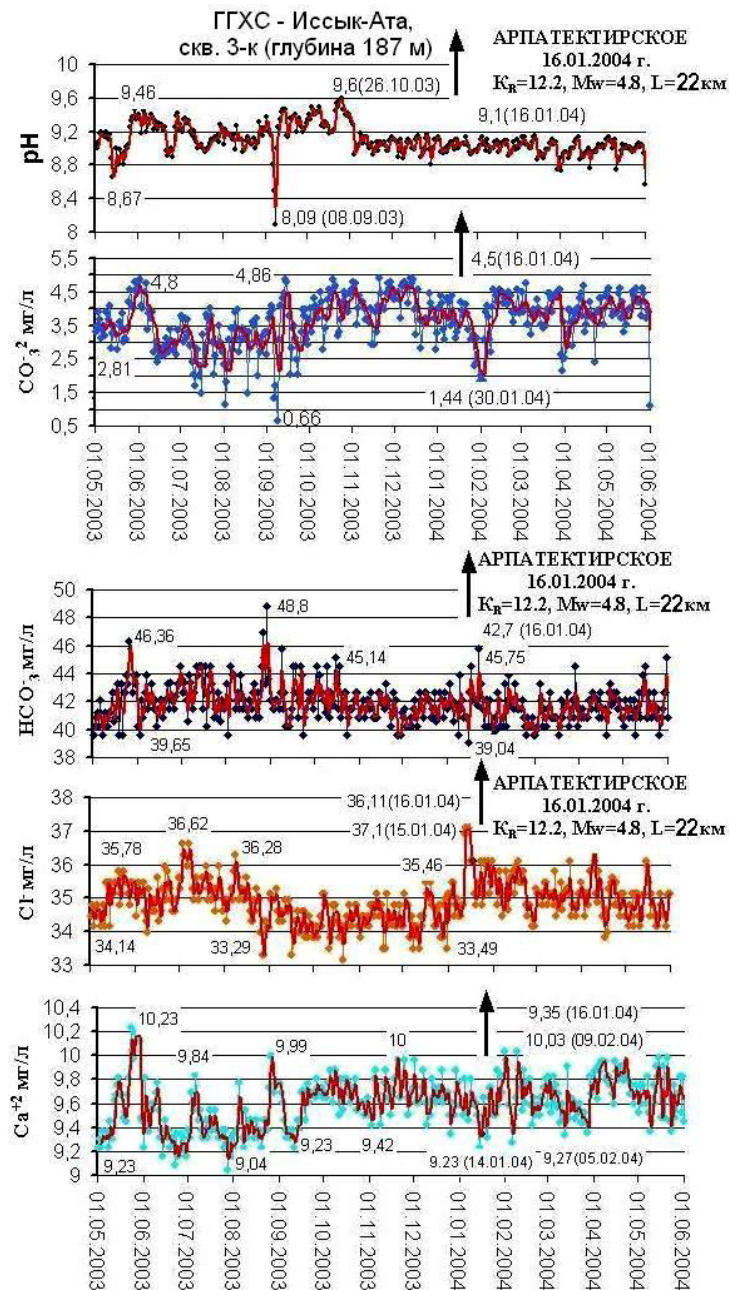


Рисунок 9. Изменения содержания компонентов ТМВ Иссык-Ата (скв. 3-к) перед Арпатектирским землетрясением 2004 г. с $M_w=4,8$.

Таким образом, из выше изложенного можно заключить, что временные изменения в ТМВ Северного Тянь-Шаня, связанные с периодами до, во время и после свершения сильных землетрясений, в основном, носят средне- и короткопериодный характер. При этом повсеместно проявляется циклический ритм поведения подземных вод в верхнем структурно-гидрогеологическом этаже (ГДО: Аламедин, скв. 909 и Эркинсай, скв. 1441), указывающий на наличие гидравлической связи с областями современного питания. На этом фоне, для самоизливающихся и высоконапорных вод из кайнозойских отложений (ТМВ Иссык-Ата, Аламедин и др.), свойственен в годовом и многолетнем разрезе стабильный режим, нарушение которого, главным образом совпадает с периодами подготовки землетрясений.

Выводы

1. Многолетний опыт гидрогеологических исследований, проводимых в целях прогноза сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня, показывает, что изменения

параметров гидрогеологических полей в комплексе с другими полями, могут быть информативными параметрами для локализации места ожидаемого землетрясения.

2. Значительные изменения содержания ТМВ компонентов и динамических параметров подземных вод наблюдаются, в основном, в областях подготовки сильных землетрясений или в непосредственной близости от них.

Литература

1. Юдахин Ф.Н. Сейсмологические исследования в Киргизии // Известия АН Кирг. ССР, физ. - тех. и матем. наук, 1990. – С. 73-87.
2. Абдуллаев А.У., Меджитова З.А., Кригер Л.Р., Нургазиева В.В. Последовательность проявления предвестников сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня // Физика Земли, № 7, 1988. – С. 23-32.
3. Абдуллаев А.У. Флюидный режим земной коры как отражение современных геодинамических процессов (на примере Тянь - Шаня). Алматы: Эверо, 2002, 352 с.
4. Нургазиева В.В., Беленович Т.Я. Изменение концентрации гидрогеохимических компонентов термоминеральных вод месторождений Иссык-Ата и Аламедин на Фрунзенском прогностическом полигоне в связи с сейсмичностью// Гидрогеохимические и гидродинамические исследования на прогностических полигонах Киргизии. – Фрунзе: Илим, 1988. – С. 58-77.
5. Оролбаев Э.Э. Влияние Сарыкамышского землетрясения на режим Джеты-Огузского месторождения ТМВ. – Деп. ВИНТИ, 3 3356-82, 1982, 13 с.
6. Камиссаров В.В. Исследования процессов миграции гелия в водах разломов в связи с прогнозом землетрясений// Гидрогеохимические и гидродинамические исследования на прогностических полигонах Киргизии. – Фрунзе: Илим, 1988. – С. 78-95.
7. Оролбаев Э.Э. Первые результаты исследований режима подземных вод с целью поиска гидрогеодинамических предвестников землетрясений на территории Киргизии// Гидрогеодинамические предвестники землетрясений. М.: Наука, 1984. – С. 50-64.
8. Гребенникова В.В. Гидрогеохимические и гидродинамические исследования с целью прогноза землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня. Сборник докладов 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума, 2-4 июня 2010 г. Алматы, Казахстан, 2010. – С. 151-155.