

УДК 550.348; 556.3; 550.

¹Кендирбаева ДЖ.Ж., ²Тукешова Г.Е.,¹Гребенникова В.В.,³Алиев М.Х., ²Жунисбеков Т.С., ²Кобланов Ж.Б.,²Джанабиллова С.О., ²Ельдеева М.С.*Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан**²ТОО «Институт сейсмологии» МОН РК, г. Алматы, Казахстан**³ТОО «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» (СОМЭ), г. Алматы, Казахстан*

ГИДРОГЕОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПО ДАННЫМ АЛМАТИНСКОГО (АПП) И ИССЫК-КУЛЬСКОГО ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ НА ПРИМЕРЕ ТРЁХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С $M \geq 6.0$

Аннотация. В статье рассматриваются различные типы изменений в режиме подземных вод на Алматинском (АПП) и Исык-Кульском прогностических полигонах на примере трёх сильных землетрясений $M \geq 6.0$, произошедших в 2013 г. и 2017 г., с учётом механизмов влияния гидрогеологических условий и видов режимных водопроявлений.

Ключевые слова: газо-химический состав, многолетний разрез, эпицентры землетрясений, статистический анализ, коэффициенты вариации и корреляции, временные ряды, предвестниковые признаки.

ГИДРОГЕОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПО ДАННЫМ АЛМАТИНСКОГО (АПП) И ИССЫК-КУЛЬСКОГО ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ НА ПРИМЕРЕ ТРЁХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ $M \geq 6.0$

Кыскача мазмуну. Макалада Алматы (АБП) жана Ысык-Көл божомолдоо полигондорундагы жер алдындагы суулар режиминдеги өзгөрүүнүн ар түрдүү типтери 2013-ж. жана 2017-ж. болуп өткөн $M \geq 6.0$ үч күчтүү жер титирөөлөрдүн мисалында, гидрогеологиялык шарттардын жана режимдик суу көрүнүүлөрдүн түрлөрүнүн таасиринин механизмдерин эсепке алуу менен каралат.

Негизги сөздөр: газ-химиялык курам, көп жылдык кесилиш, жер титирөөлөрдүн эпиборборлору, статистикалык талдоо жүргүзүү, вариация жана корреляция коэффициенттери, убакыт катарлары, боло тургандыгынын белгилери.

HYDROGEOSEISMIC EFFECTS ACCORDING TO THE DATA OF THE ALMATY (APP) AND ISSYK-KUL PROGNOSTIC SITES ON THE EXAMPLE OF THREE EARTHQUAKES WITH $M \geq 6.0$

Abstract. Different types of changes in the groundwater regime at the Almaty (APP) and at the Issyk-kul Prognostic Sites taking into account the mechanisms of influence of hydrogeological conditions and types of water-development regime on the example of three strong earthquakes with $M \geq 6.0$, occurred in 2013 and 2017, are considering in this paper.

Keywords: gas-chemical composition, long-term section, epicenters of earthquakes, statistical analysis, coefficients of variation and correlation, time series, precursors.

Алматинский прогностический полигон (АПП) относится к Северо-Тянь-Шанскому гидрогеологическому региону, который включает крупный Илийский бассейн, обрамлённый с юга горными сооружениями Кетмень-Зайлийской системы с трещинными водами, а на севере горно-складчатой системой Джунгарского Алатау. Илийский артезианский бассейн охватывает одноимённую межгорную впадину, отделяющую северные цепи Тянь-Шаня от Джунгарского Алатау (рис. 1). В пределах этой впадины выделяются три впадины второго порядка, различающиеся амплитудами и временем погружения. Это Джаркентская, Алматинская и Копинская впадины, заполненные осадочными породами мезозоя и кайнозоя. От гор они отделяются серией региональных тектонических разломов, сложенных чередованием водоупорных и водопроницаемых пород с общей мощностью до 4000 – 6000 м. Данная система артезианских бассейнов по условиям формирования подземных вод подразделяется на четыре гидрогеологических этажа: палеоген-четвертичный и неогеновый, четвертичный и кайнозойский.



Рис. 1. Схема сейсмических, сеймотелеметрических, гидрогеодинамических и гидрогеохимических станций ГУ «СОМЭ КН МОН КР» Алматинского прогностического полигона (АПП) и гидрогеодинамических, гидрогеохимических станций Иссык-Кульского сейсмопрогностического полигона ИС НАН КР.

Породы палеозойского и мезозойского этажа получают основное питание на участках их выхода на дневную поверхность. Озерные отложения неогена содержат серию напорных водоносных горизонтов, формирующихся за счёт атмосферных

осадков и подтока из других водоносных слоёв. Водоносный комплекс четвертичных отложений содержит ряд горизонтов напорных и грунтовых вод, находящихся в гидравлической взаимосвязи с нижележащими водосодержащими толщами. Их основное питание обеспечивается за счёт водопритока с предгорного шлейфа, а движение подземных вод происходит в направлении с юга на север, т.е. от приподнятых бортов гор к р. Или.

Гидрогеосейсмический мониторинг на АПП Казахстана, действующий с 1978 года, состоит из гидрогеодинамических (ГГД) и гидрогеохимических (ГГХ) станций, основанных на всех четырёх гидрогеологических этажах. Их большая часть расположена в горной части региона, где имеются трещинные воды палеозоя (Алма-Арасан, Горельник, Известковый и др.), а остальные – в напорных водах, выходящих из озерных отложений кайнозоя (Копа и др.) и четвертичных отложений (Богуты).

В данный гидрогеосейсмический мониторинг дополнительно привлекаются данные четырёх станций Исык-Кульского полигона Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики (ИС НАН КР), к которым относятся ГГД «Кара-Ой», ГГХ «Каджи-Сай» и ГГХ «Каракол», расположенные по акватории одноимённого озера, тогда как ГГХ «Джеты-Огуз» - в горной части (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1.

**Геолого-гидрогеологическая характеристика объектов - ГГД и ГГХ станций
АПП ГУ «СОМЭ КН МОН КР» и Исык-Кульского сейсмопрогностического
полигона ИС НАН КР, рассматриваемые в данной статье**

№ п/п	Наименования ГГХ и ГГД станций, № скв., глуб., м	Водовмещающие породы, геологический возраст	Т°С воды	М, г/л	Химический состав воды ТМВ
ГУ «СОМЭ КН МОН КР»					
1.	«Сарыжаз» скв. №2618, 130	Песчано-глинистые глины, илийской свиты, трещиноватые порфиры нижнего карбона С ₁	-	-	-
2.	«Акколь» скв. №2602, 500	Неогеновые отложения N ₂ , гравийно-галечники с песчаным заполнителем	-	-	-
3.	«Богуты» скв. №2604, 120	Суглинисты отложения илийской свиты, неогена с включением гравия и гальки	-	-	-
4.	«Тургень» скв. №2601, 503	Гранит-порфиры	29, 0	-	<u>Уровень воды</u> -3,0
5.	«Калкан» скв. №116, 641 м	Пески, песчаники, К ₂	32, 5	8,0	<u>SO₄52Cl42HCO₃3</u> Na92 Ca6 Mg 1
6.	«Капал-Арасан» скв. №531, 300	Граниты С ₂₋₃	17, 3	0,5	<u>SO₄ 48 Cl 40</u> Na89
7.	«Джаркент-Арасан» скв. №30	Граниты, P ₂ на контактах с порфиритами С ₁	27	0,8	<u>SO₄51Cl 31</u> <u>HCO₃18</u> Na 81 Ca 17 Mg 7

Институт сейсмологии НАН КР					
1.	«Кара-Ой» скв.№_1088, 110	Галечно-песчаные образования с песком	-	-	<u>Уровень воды</u> -3.29
	«Кара-Ой» скв.№ 2489, 1500	Песчаники, алевролиты N ₂	24	1,6- 1,8	<u>Дебит воды - Q</u> л/сек
2.	«Каракол» скв.№ 1756, 1500	Песчаники, алевролиты N ₂	34	0,3	<u>Дебит воды - Q</u> 5.1 л/сек
3.	«Джети-Огуз»: скв.№ 6, 163	Известняки, С ₂	37	10,5	<u>Cl 80SO₄20</u> (Na+K)53 Ca43
	скв.№20, 520	Метаморфические сланцы, PR ₂	24	3,0	
4.	«Каджи-Сай» скв.№ 1111, 1500	Песчаники, алевролиты N ₂	54	0,3	<u>SO₄ 49 Cl 46</u> Na 84 Ca 12

Примечание: ГГД «Каракол» - с 2017 г. ГГХ «Каракол»

Иссык-Кульская впадина представляет собой закрытую депрессию со взбросо-сдвиговыми и надвиговыми тектоническими границами с Кунгейским и Терскейским гидрогеологическими массивами. Её фундамент в западной части максимально приближается к поверхности земли, на востоке кровля которого, в эпицентральной зоне 8-9-балльного Сары-Камышского (1970, Kp=15.6) землетрясения, залегает на глубине 10 – 15 км.

Общий набор наблюдаемых параметров на станциях АПП ГУ «СОМЭ КН МОН КР» достигает до 30, а в Иссык-Кульском полигоне ИС НАН КР- до 14 наименований (табл. 2). Для каждой станции набор параметров определяется типом и химическим составом подземных вод, а также условиями наблюдения и технической оснащённости водопунктов.

Таблица 2.

Основные параметры и компоненты, определяемые на ГГД и ГГХ станциях АПП ГУ «СОМЭ КН МОН КР» и Иссык-Кульского сейсмопрогностического полигона ИС НАН КР [1].

№ п/п	Основные генетические группы параметров и показателей в составе подземных вод (* - наблюдаемые параметры на станциях Иссык-Кульского сейсмопрогностического полигона ИС НАН КР)	Измеряемые компоненты и параметры
1.	Гидродинамические показатели	H _{ур} (уровень, см)*, Q(дебит, л/сек)*, P _{скв} (давление)*
2.	Основной ионно-солевой состав	H ₄ SiO ₄ , HCO ₃ ^{-*} , CO ₃ ^{-2*} , CO ₂ , SO ₄ ⁻² , Cl ^{-*} , F ⁻ , K ⁺ , Ca ^{+2*} , Mg ^{+2*} , Na ⁺
3.	Физико-химическое состояние	Ph*, Eh, T°C _{воды} *, P _{воды} *,
4.	Газовый состав	Rn, He _{раст} , H _{сп} , Hg, H ₂ , CH ₄ , CO ₂ *, O ₂ ,

		N_2, Gf
5.	Сопутствующие показатели	$P_{атм.}^*, T^{\circ}C_{возд.}^*$

Влияние периода подготовки землетрясений с $K_p \geq 13.0$ на режим подземных вод проявляется в гидрогеосейсмических эффектах или в гидрогеосейсмических вариациях, образующих характерные (присущие каждому объекту) ГГД и ГГХ колебания в режиме скважин. В зависимости от силы воздействия, характеризующегося соотношением величин магнитуды землетрясения и его гипоцентрального расстояния, гидрогеосейсмические вариации могут состоять из нескольких частей: предшествующей землетрясению косейсмической и постсейсмической, либо из одной из них отличающихся по форме и длительности проявления, или индифферентностью [2-7].

Примером являются косейсмические и постсейсмические ГГХ и ГГД вариации, зафиксированные на станциях ИС НАН КР и АПП ГУ «СОМЭ КН МОН КР» до, во время и после 8-балльного Сарыжазского (Кокпакского) землетрясения, произошедшего 28.01.2013 г. на территории Казахстана с энергетическим классом (K_p) =14.7, глубиной (h) =16 км и магнитудой (MPV) =6.5 (рис. 1) в пределах координат $\varphi = 42.58^{\circ} N$, $\lambda = 79.68^{\circ} E$ [8]. В населённых пунктах Чуйской, Иссык-Кульской, Нарынской, Ошской и Джалал-Абадской областей Кыргызстана интенсивность землетрясения (по шкале MSK-64) колебалась от 7.5 до 4 баллов (рис. 2, табл. 3).

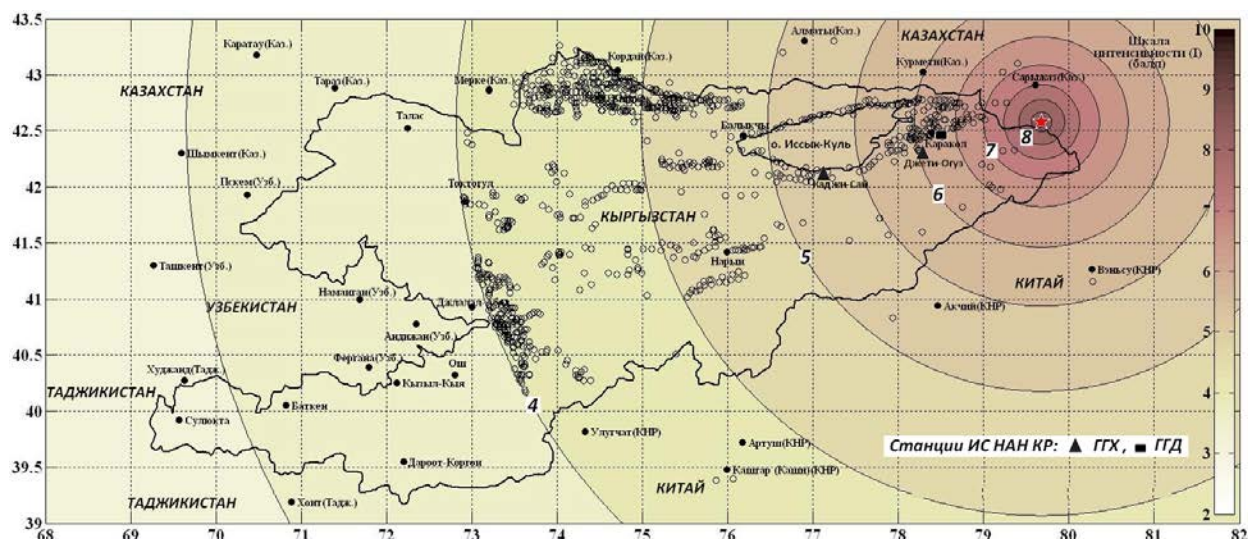


Рис. 2. Карта теоретических (круговых) изосейст в пределах координат: $\varphi = 39.00^{\circ} - 43.50^{\circ} N$, $\lambda = 68.00^{\circ} - 82.00^{\circ} E$, 8-балльного Сарыжазского (Кокпакского) землетрясения 28.01.2013 г. $MPV=6.5$ ($I_{min}=4.0$ балла) [9-10].

Таблица 3.

Фрагмент расчёта интенсивности сейсмических сотрясений при Сарыжазском (Кокпакском) землетрясении 2013 г. в населённых пунктах Иссык-Кульской области Кыргызстана по [9-10].

Населённые пункты	Область	Район	φ°, N	λ°, E	Δ , км	I_i , балл
Эчкили-Таш	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,33	79,36	38,41	7,5
Кен-Суу	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,32	79,22	47,86	7,2

Каркыра	Иссык-Кульская	Тюпский	42,75	79,13	49,4	7,2
Джергалан	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,6	79,02	54,82	7,0
Токтогул	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,63	78,98	58,36	7,0
Сан-Таш	Иссык-Кульская	Тюпский	42,75	78,98	61,09	6,9
Кёк-Джайык	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,72	78,93	64,16	6,8
Тюрген	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,57	78,88	66,41	6,8
Койлуу	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,18	79,08	66,72	6,8
Советское	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,65	78,87	67,68	6,8
Ак-Булак	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,6	78,82	71,41	6,7
Ак-Булун	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,62	78,82	71,52	6,7
Сары-Тёлөгөй	Иссык-Кульская	Тюпский	42,72	78,78	76,3	6,6
Боз-Учук	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,56	78,75	77,22	6,6
г. Каракол	Иссык-Кульская		42,48	78,39	107,64	6,2
Джети-Огуз кур.	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	42,32	78,23	123,76	6,0
Каджи-Сай	Иссык-Кульская	Тонский	42,14	77,17	213,98	5,3
Кара-Ой	Иссык-Кульская	Ыссык-Кульский	42,63	77,00	222,51	5,2

Так, косейсмические вариации, выраженные противофазными аномалиями дегазации CO_3^{2-} и CO_2 наблюдались за два месяца до этого сейсмического события на ГГХ станции «Джеты-Огуз», находящейся в 124 км от эпицентра: в скв. 6 (глубина 163 м, водовмещающие породы – известняк, C^2) и 20 (глубина 520 м, водовмещающие породы – метаморфические сланцы, PR_2) рис. 3А. Также за месяц до этого землетрясения, в 108 км от эпицентра, в скв.1756 «Каракол» глубиной 1500 м, пробуренной в миоцен-плиоценовых отложениях, резко упала температура воды на более чем 2.5°C (рис. 3А).

Предвестниковые аномалии проявлялись и на более удалённых ГГХ и ГГД станциях и объектах: в 214 км от эпицентра в воде скв. 1111 «Каджи-Сай» глубиной 1500 м отмечались значительные изменения Mg^{+2} ; в 223 км – в воде скв. 2489 «Кара-Ой» глубиной 1500 м – известны вариации в значениях pH и Mg^{+2} .

На АПП Казахстана в скважинах ГГД станций – «Сарыжаз» ($R=79$ км), «Богуты» ($R=162$ км) и «Тургень» ($R=177$ км), отмечались косейсмические аномалии по уровню подземных вод (рис. 3Б).

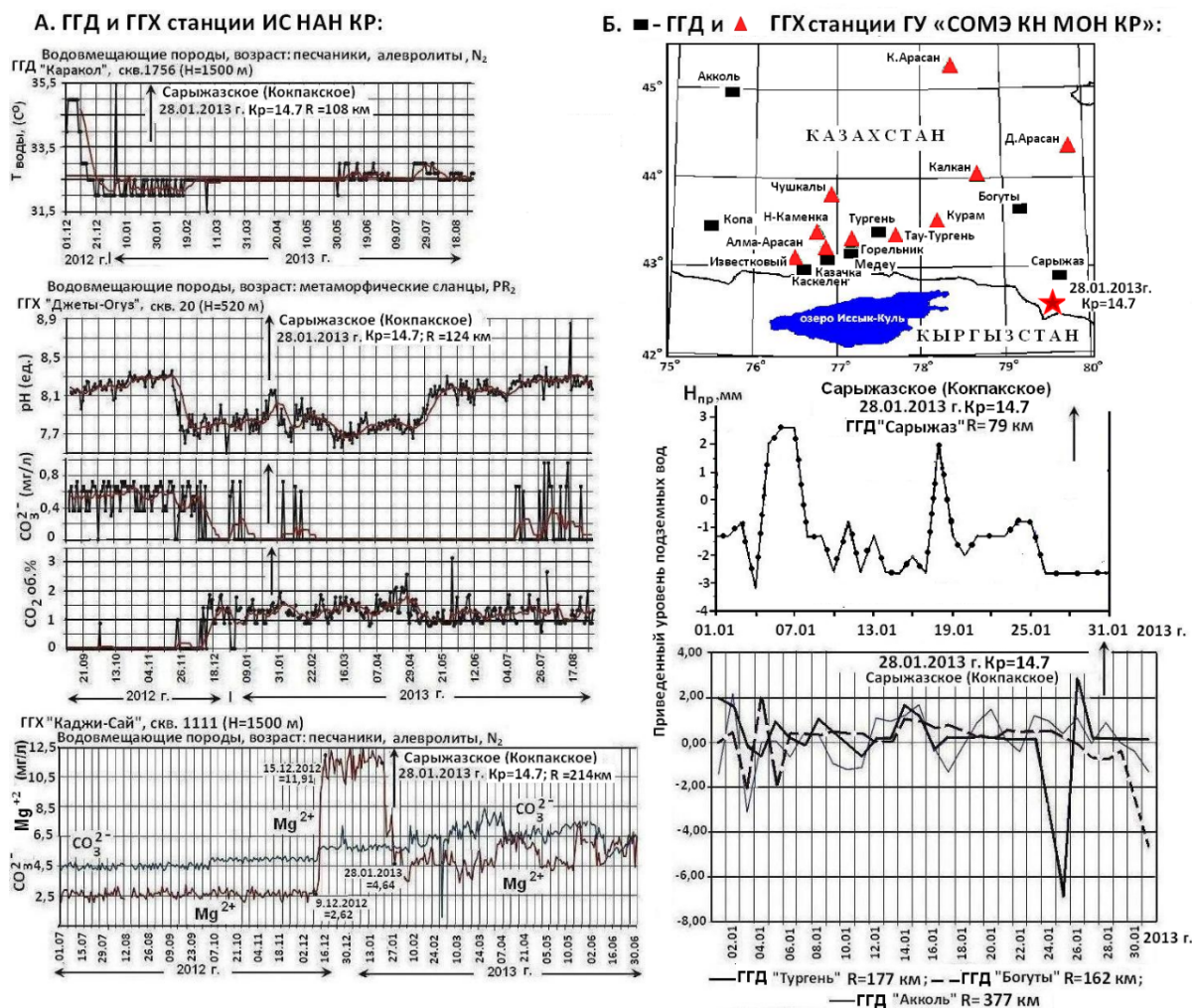


Рис. 3. Гидрогеосейсмические вариации в воде скважин ГГХ и ГГД станций: А. ИС НАН КР и Б. АПП ГУ «СОМЭ КН МОН РК» при Сарыжазском (Кокпакском) землетрясении 28.01.2013 г.

Самые сильные землетрясения с $M \geq 6.0$ в пределах Северного Тянь-Шаня в 2017 году произошли на территории Казахстана и Китая. По данным ГУ «СОМЭ КН МОН РК» 4 апреля 2017 г. в 15 час. 07 мин. 31 сек. по Гринвичу зарегистрировано землетрясение с $Kp = 13.3$, $MPV=6.3$ на территории Казахстана (координаты эпицентра: $\varphi = 47.52^{\circ} N$, $\lambda = 83.95^{\circ} E$) в 732.6 км на северо-восток от г. Алматы. В населённых пунктах Казахстана интенсивность землетрясения (по шкале MSK-64) составила: Зайсан 5-6 балла, Усть-Каменогорск 3-4 балла (рис. 1, 4).

На ГГД и ГГХ станциях ИС НАН КР, удалённых от эпицентра землетрясения на более 700 км (табл. 4), аномальных гидрогеосейсмических вариаций не отмечалось, а на АПП Казахстана исследованы данные пяти параметров воды- H_4SiO_4 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} и CO_2 в скважинах ГГХ станций, удалённых от эпицентра на различные расстояния- в 321 км – «Калкан», 448 км – «Капал-Арасан» и 490 км – «Джаркент-Арасан».

Анализ временных рядов по пяти параметрам воды- H_4SiO_4 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} и CO_2 на ГГХ станциях «Калкан» ($R=321$ км) и «Джаркент-Арасан» ($R=490$ км) показывает об их индифферентности к землетрясению ($MPV=6.3$) 04.04.2017 г., причём гидрогеохимические данные по станции «Капал-Арасан» ($R=448$ км) из-за отключения электроэнергии с 27.03. по 30.05.2017 г. отсутствуют.

На рис. 6 в качестве примера приведены гидрогеосейсмические вариации и коэффициенты корреляции, вычисленные между этими параметрами станции «Джаркент-Арасан» (скв. № 80) при землетрясениях, произошедших 04.04.2017 г. (MPV=6.3) и 08.08.2017 г. (MPV=6.2).

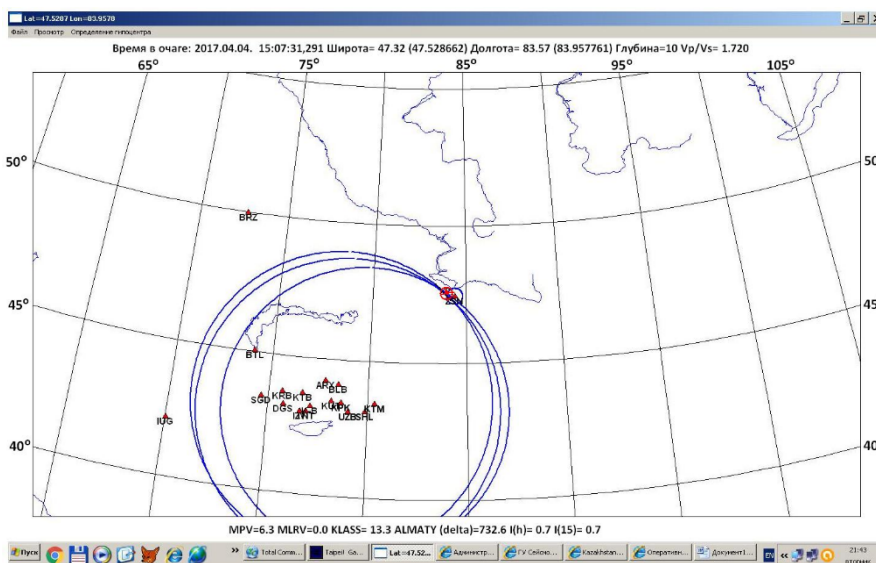


Рис. 4. Карта локации эпицентра землетрясения 04.04.2017 г. по данным ГУ «СОМЭ КН МОН КР»: $\varphi = 47.52^\circ \text{ N}$, $\lambda = 83.95^\circ \text{ E}$; MPV=6.3, $K_p = 13.3$, $h = 10$ км.

В населённых пунктах Чуйской, Иссык-Кульской и Нарынской областей сила землетрясения по шкале MSK-64 составила от 1.5 до 1 балла (рис. 5, табл. 4).

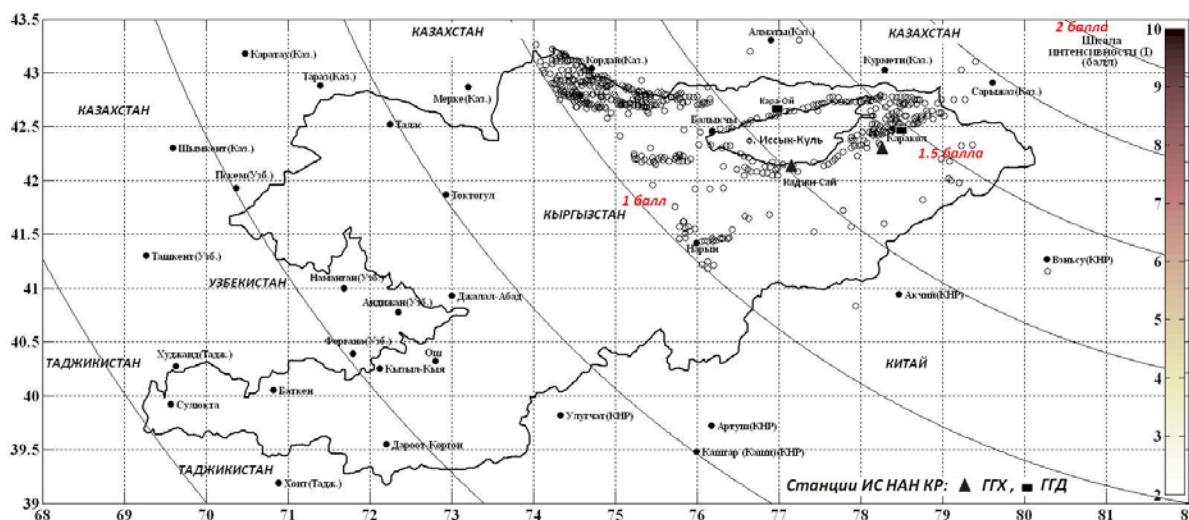


Рис. 5. Карта теоретических (круговых) изосейст в пределах координат: $\varphi = 39.00^\circ - 43.50^\circ \text{ N}$, $\lambda = 68.00^\circ - 82.00^\circ \text{ E}$ землетрясения 04.04.2017 г. (MPV=6.3), произошедшего на территории Казахстана ($I_{\min} = 1.0$ балл) [9-10].

Наиболее значимые косейсмические и постсейсмические гидрогеосейсмические вариации наблюдались на ГГД и ГГХ станциях ИС НАН КР и АПП ГУ «СОМЭ КН МОН РК» от землетрясения, произошедшего 08.08.2017 г. на территории Китая (Северный Синьцзян). Координаты эпицентра землетрясения- $\varphi = 44.27^\circ \text{ N}$, $\lambda = 82.86^\circ \text{ E}$, $h = 15$, MPV=6.2 (рис. 1, фото 1). Интенсивность землетрясения (по шкале MSK-64) на

территории Казахстана составила: в гг. Алматы и Талды-Курган – 4 балла, Интенсивность землетрясения (по шкале MSK-64) на территории Казахстана составила: Алматы, Талды-Курган – 4 балла, Джаркент, Достык – 4-5 баллов, Караганда, Усть-Каменогорск – 2 балла.

В населённых пунктах Тюпского, Ак-Суйского, Джети-Огузского и Иссык-Кульского районов Иссык-Кульской области Кыргызстана интенсивность землетрясения (по шкале MSK-64) составила от 4.5 до 3.5 баллов (рис. 7, табл. 5).

Таблица 4.

Фрагмент расчёта интенсивности сейсмических сотрясений при землетрясении 04.04.2017 г. ($M_{PV}=6.3$) в населённых пунктах Иссык-Кульской области Кыргызстана [9-10].

Населённые пункты	Область	Район	φ°, N	λ°, E	$\Delta, \text{км}$	$I_i, \text{Балл}$
Каркыра	Иссык-Кульская	Тюпский	42,75	79,13	663,62	1,5
Сан-Таш	Иссык-Кульская	Тюпский	42,75	78,98	671,2	1,5
Кёк-Джайык	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,72	78,93	676,37	1,5
Курмет	Иссык-Кульская		43,03	78,29	684,9	1,5
Сары-Тёлөгёй	Иссык-Кульская	Тюпский	42,72	78,78	684,11	1,5
Кен-Суу	Иссык-Кульская	Тюпский	42,75	78,72	684,67	1,5
Джергалан	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,6	79,02	682,41	1,5
Токтогул	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,63	78,98	681,75	1,5
Джылуу-Булак	Иссык-Кульская	Тюпский	42,75	78,65	688,37	1,5
Чон-Таш	Иссык-Кульская	Тюпский	42,77	78,62	688,26	1,5
Токтоян	Иссык-Кульская	Тюпский	42,71	78,68	690,21	1,5
Байзак	Иссык-Кульская	Тюпский	42,75	78,69	686,25	1,5
Советское	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,65	78,87	685,56	1,5
с. Каракол	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,6	78,53	707,55	1,4
г. Каракол	Иссык-Кульская		42,48	78,39	725,22	1,4
Джети-Огуз кур.	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	42,32	78,23	747,37	1,3
Кара-Ой	Иссык-Кульская	Иссык-Кульский	42,63	77	792,07	1,3

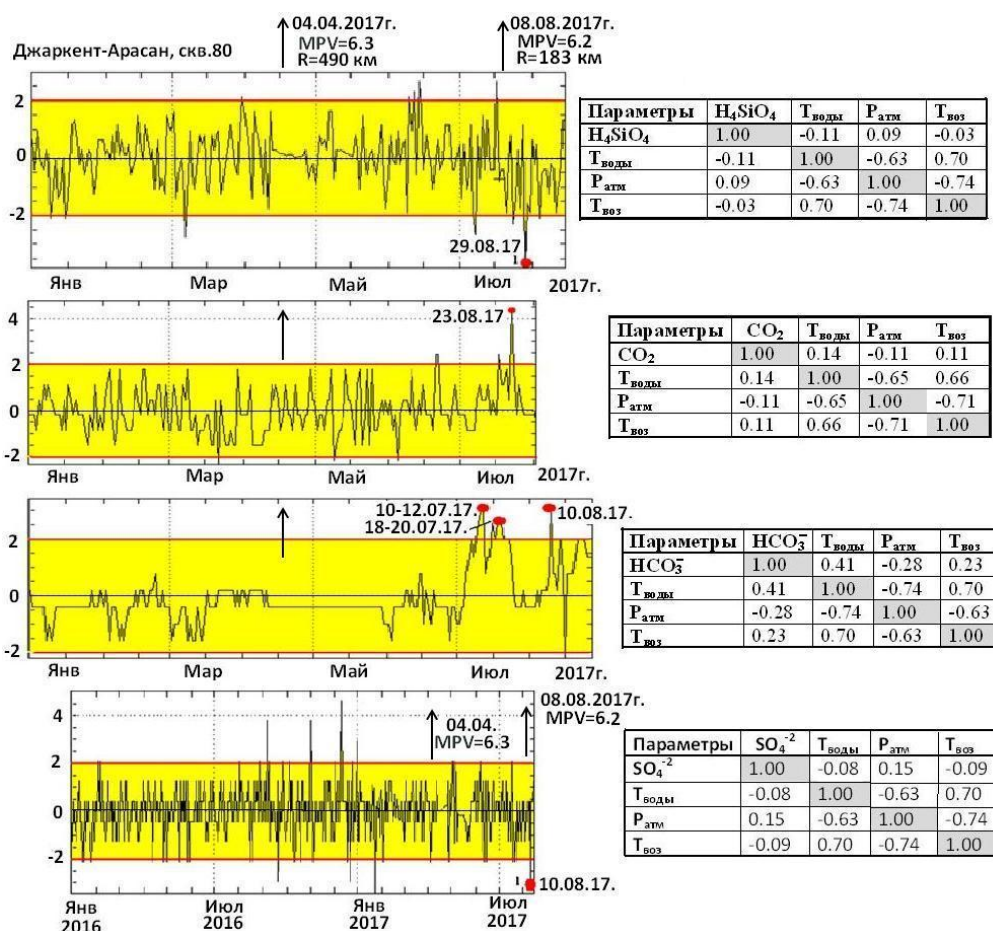


Рис. 6. Гидрогеосейсмические вариации и коэффициенты корреляции между параметрами, вычисленные по станции «Джаркент-Арасан» (скв. №80) при землетрясениях: 04.04.2017 г. (MPV=6.3) и 08.08.2017 г. (MPV=6.2).



Фото 1. Эпицентр землетрясения, произошедшего 08.08.2017 г. (MPV=6.2) в 23 часа 28 минут по Гринвичу (9 августа 2017 г. в 05 час. 28 мин. по времени Астаны) на территории Китая (Северный Синьцзян) (www.emsc-csem.org).

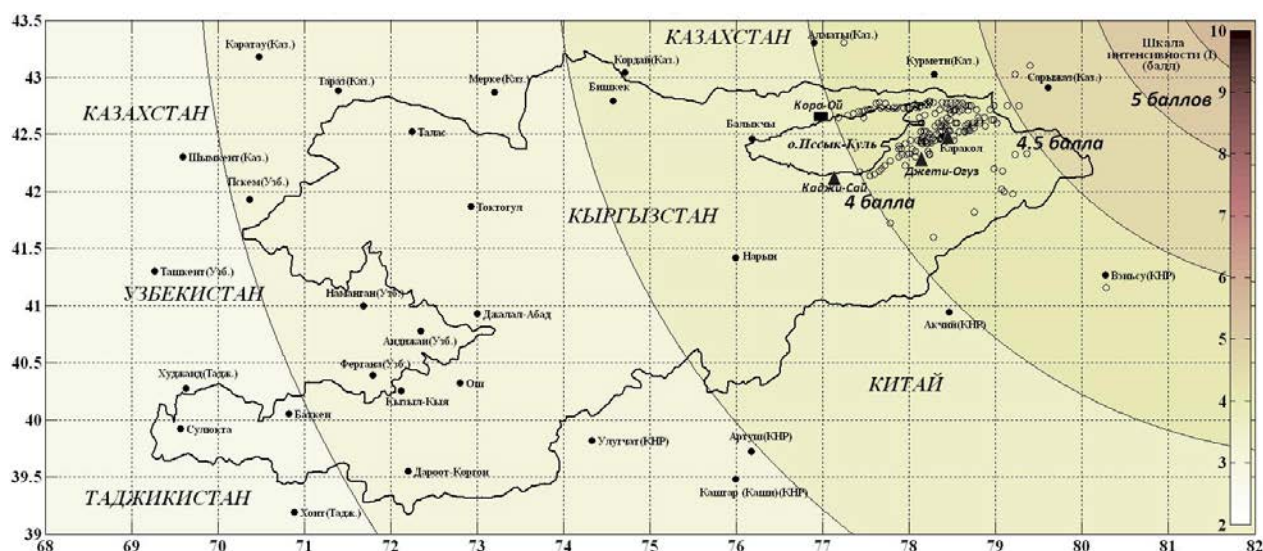


Рис. 7. Карта теоретических изосейст в пределах координат: $\varphi = 39.00^{\circ} - 43.50^{\circ} \text{ N}$, $\lambda = 68.00^{\circ} - 82.00^{\circ} \text{ E}$ ($I_{\min}=4.0$ балла) землетрясения, произошедшего 08.08.2017 г. ($M_{\text{PV}}=6.2$) в 23 часа 28 минут по Гринвичу (9 августа 2017 г. в 05 час. 28 мин. по времени Астаны) на территории Китая (Северный Синьцзян) [9-10].

Таблица 5.

Фрагменты расчёта интенсивности сейсмических сотрясений при землетрясении 08.08.2017 г. ($M_{\text{PV}}=6.2$) в населённых пунктах Иссик-Кульской области Кыргызстана ($I_{\min}=4.0$ балла) [9-10].

Населённые пункты	Область	Район	$\varphi^{\circ}, \text{N}$	$\lambda^{\circ}, \text{E}$	Δ , км	I_i , балл
Каркыра	Иссик-Кульская	Тюпский	42,75	79,13	352,58	4,5
Эчкили-Таш	Иссик-Кульская	Ак-Суйский	42,33	79,36	361,61	4,5
Сан-Таш	Иссик-Кульская	Тюпский	42,75	78,98	363,56	4,4
Джергалан	Иссик-Кульская	Ак-Суйский	42,6	79,02	368,71	4,4
Кёк-Джайык	Иссик-Кульская	Ак-Суйский	42,72	78,93	368,78	4,4
Токтогул	Иссик-Кульская	Ак-Суйский	42,63	78,98	369,93	4,4
Кен-Суу	Иссик-Кульская	Ак-Суйский	42,32	79,22	371,65	4,4
Ак-Чий	Иссик-Кульская	Ак-Суйский	42,65	78,8	381,96	4,4
Тюрген	Иссик-Кульская	Ак-Суйский	42,57	78,88	380,44	4,4
Корумду	Иссик-Кульская	Тюпский	42,77	78,57	393,08	4,3
Тасма	Иссик-Кульская	Тюпский	42,70	78,58	395,68	4,3
Кёочю	Иссик-	Тюпский	42,78	78,53	395,62	4,3

	Кульская					
Май-Саз	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,20	78,98	395,61	4,3
Отрадное	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,58	78,65	396,6	4,3
Талды-Суу	Иссык-Кульская	Тюпский	42,78	78,48	399,39	4,3
Кош-Дёбё	Иссык-Кульская	Тюпский	42,70	78,52	400,16	4,3
Арал	Иссык-Кульская	Тюпский	42,72	78,53	398,45	4,3
Мин-Булак	Иссык-Кульская	Тюпский	42,72	78,52	399,2	4,3
Энильчек	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,02	79,07	401,66	4,3
Орлиное	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,60	78,55	402,91	4,3
Сары-Камыш	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,52	78,63	401,24	4,3
Ичке-Суу	Иссык-Кульская	Тюпский	42,77	78,43	403,63	4,3
Долон	Иссык-Кульская	Тюпский	42,69	78,48	403,63	4,3
Каракол	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,60	78,53	404,38	4,3
Шаты	Иссык-Кульская	Тюпский	42,78	78,38	406,96	4,3
Тюп	Иссык-Кульская	Тюпский	42,72	78,35	411,98	4,3
Тегизчил	Иссык-Кульская	Ак-Суйский	42,56	78,42	414,53	4,3
Беловодское	Иссык-Кульская	Тюпский	42,77	78,20	421,1	4,3
г. Каракол	Иссык-Кульская		42,48	78,39	420,86	4,3
Кутургу	Иссык-Кульская	Тюпский	42,74	78,12	428,51	4,2
Ой-Тал	Иссык-Кульская	Тюпский	42,73	78,00	438,1	4,2
Ак-Шыйрак	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	41,82	78,75	436,26	4,2
Джети-Огуз кур.	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	42,32	78,23	441,05	4,2
Ананьево	Иссык-Кульская	Ыссык-Кульский	42,73	77,67	463,45	4,1
Саруу	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	42,32	77,92	463,65	4,1
Корумду	Иссык-Кульская	Ыссык-Кульский	42,68	77,35	490,2	4,1
Барскоон	Иссык-	Джети-Огузский	42,15	77,60	495,96	4,0

	Кульская					
Тамга	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	42,14	77,54	500,87	4,0
Бостери	Иссык-Кульская	Ыссык-Кульский	42,65	77,18	504,57	4,0
Тосор	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	42,17	77,43	507,4	4,0
Сёок	Иссык-Кульская	Джети-Огузский	41,72	77,78	507,84	4,0

На АПП Казахстана исследованы гидрогеохимические данные пяти параметров воды (H_4SiO_4 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} и CO_2), в скважинах ГГХ станций, удалённых от эпицентра землетрясения на расстояния: 183 км – «Джаркент-Арасан» (см. рис. 6), 257 км – «Капал-Арасан» и 321 км – «Калкан». На рис. 8 показаны их результаты – гидрогеосейсмические, косейсмические и постсейсмические вариации и коэффициенты корреляции между наблюдаемыми параметрами станций «Капал-Арасан» (скв. №2) и «Калкан» (скв. №116) в период землетрясения 08.08.2017 г. ($MPV=6.2$).

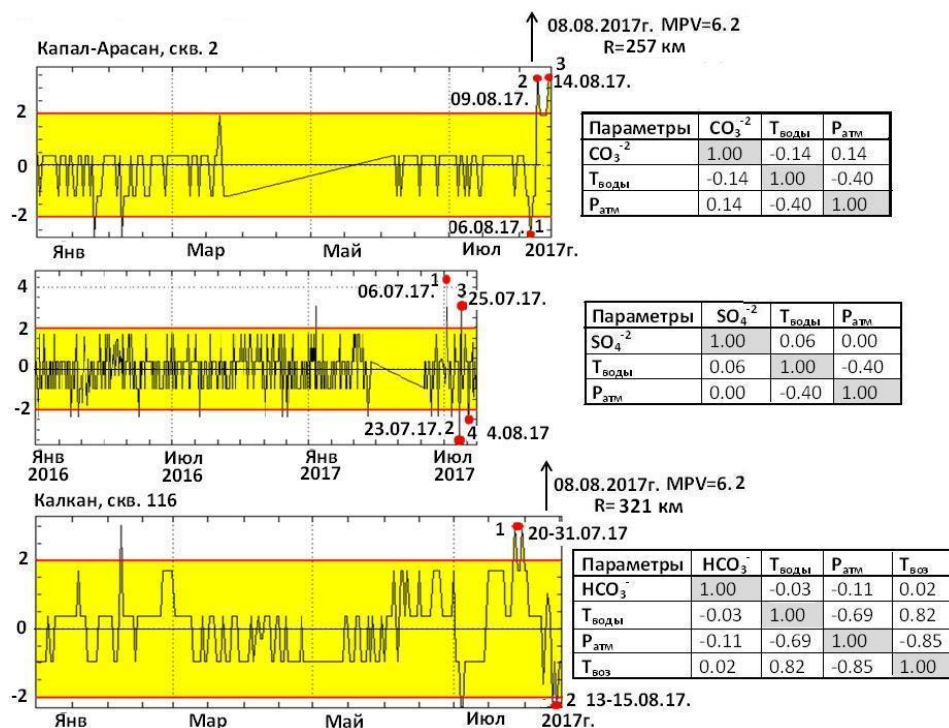


Рис. 8. Гидрогеосейсмические вариации и коэффициенты корреляции между наблюдаемыми параметрами (H_4SiO_4 , HCO_3^- , SO_4^{2-} и CO_3^{2-}) по станциям Капал-Арасан (скв. № 2) и Калкан (скв. № 116) в период землетрясения 08.08.2017 г. ($MPV=6.2$), произошедшего 08.08.2017 г. ($MPV=6.2$) в 23 часа 28 минут по Гринвичу (9 августа 2017 г. в 05 час. 28 мин. по времени Астаны) на территории Китая (Северный Синьцзян).

На рис. 9А-Б представлены графики гидрогеосейсмических вариаций уровня подземных вод ($H_{ур}$) и атмосферного давления ($P_{атм}$) по ГГД станциям «Богуты» (скв. № 2604) и «Тургень» (скв. № 2601), удалённых от эпицентра землетрясения 08.08.2017 г. на расстояния: 509 км и 581 км соответственно. На графиках: А – исходные ряды $H_{ур}$ и $P_{атм}$, Б – обработанные ряды этих параметров по программе ($\Delta H_{пр}$), с выделением

косейсмических отрицательных аномалий, выходящих за пределы доверительного интервала до 12.08.2017 г.

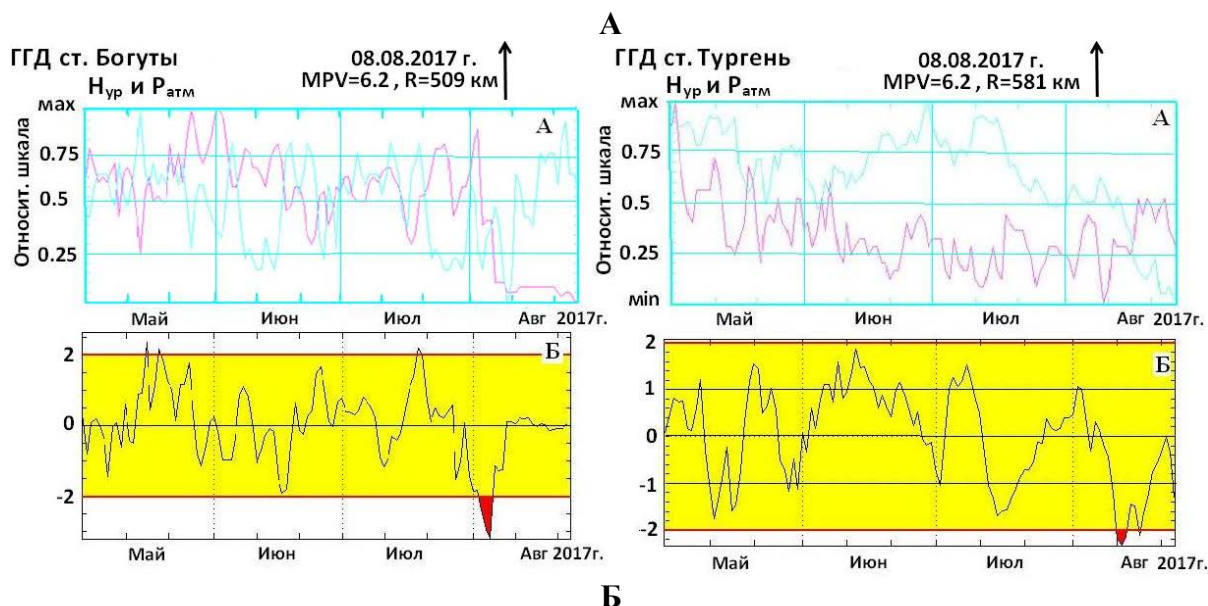


Рис. 9. Графики гидрогеосейсмических вариаций уровня подземных вод ($H_{ур}$ - красная линия) и атмосферного давления ($P_{атм}$ - синяя) с января по август 2017 г. по ГГД станциям «Богуты» (скв. № 2604) и «Тургень» (скв. № 2601): **А** – исходные ряды $H_{ур}$ - красная линия и $P_{атм}$ – синяя; **Б** – обработанные ряды этих параметров по программе - $\Delta H_{пр}$.

На рис. 9Б. видно, что в скв. № 2604 ГГД станции «Богуты», с 03.08. по 05.08.2017 г. отмечалось понижение уровня воды от -2.4 до -3.2, который с 06.08.2017 г. резко повысившись, 08.08.2017 г. достиг значения -1.2, а на момент реализации толчка (09.08.2017 г.) соответствовал 0.10.

Иными словами, за шесть дней до землетрясения в скв. № 2604 ГГД станции «Богуты» проявилась косейсмическая отрицательная вариация уровня воды в форме бухты, на момент закрытия которой произошло землетрясение.

В скв. № 2601 ГГД станции «Тургень» (рис. 9Б) до момента этого сейсмического события наблюдалась гидрогеосейсмическая вариация уровня подземных вод, не выходящая за доверительный интервал 1.0. После землетрясения, начиная с 10.08.2017 г., отмечается постсейсмическая отрицательная вариация уровня воды до значения -2.3 на 12.08.2017 г.

Что касается ко- и постсейсмических эффектов по объектам наблюдений Иссик-Кульского полигона, зафиксированных в периоды подготовки и реализации землетрясения 08.08.2017 г. (Китай - Северный Синьцзян), то они проявляются следующим образом (рис. 10-11). Как видно из рис.10 в поведении режима всех определяемых гидропараметров чётко отражены пространственно-временные взаимосвязи с данным событием, где доминируют не столько эпицентрально-литологическое различие вмещающих пород, сколько химическая неустойчивость в неравновесии между ионами. Так, в них косейсмические реакции, проявляющиеся в кислотно-щелочных свойствах, охарактеризованных значениями pH, носят хаотичный характер, а температура, наоборот, обладает устойчивым трендом в сторону повышения, за которыми комплексно вовлечено резкое падение концентрационных значений ионов. Например, в воде скв. 6 и 20 ГГХ станции «Джеты-Огуз», удалённой от эпицентра землетрясения на 441 км, величины pH и температуры,

начиная с мая 2017 г., непрерывно пульсируют вариациями, по характеру отличающимися от закономерных «помех». Пульсирующие вариации отмечаются вплоть до середины первой декады июля в скв. 6- переход из нейтральной (7.45) в слабощелочную среду (8.1), тогда как в скв. 20- щелочность (8.9), сформировавшись на короткое время, т.е. в конце мая- начале июня резко спускается до 8.25 для дальнейшего подъёма, что после «спускового крючка» сменяется минимумом (7.5). Эти неустойчивые и кратковременные аномалии по рН воды в скважинах сопровождаются уменьшениями в содержаниях (мг/л): Cl^- - от 6735.5 до 4626.22 и от 1612.97 до 1178.71; CO_2 - от 8.45 до 4.4 и 4.35-4.83 до 1.32 и 1.14 и Ca^{2+} - от 1643.28 до 1237.47 в скв. 6 и 20 соответственно.

Пульсирующий характер в режиме рН наблюдался в воде скв. №1756 на ГХС станции «Каракол» при эпицентральной расстоянии – 420 км, где задействована щелочная ТМВ: при снижении рН от 10.4 до 7.5 концентрация CO_2 уменьшается от 5.98 до 1.41, сохранив при этом аналогичный временной ход. Близкая к этой геохимической среде зафиксирована также аномалия в воде скв. № 2489 (Н=1500 м) ГГД станции «Кара-Ой», в 519 км от эпицентра. Комплексный анализ данных, представленных на рис. 11, показывает об общности источника временных вариаций температуры, давления и дебита ТМВ в глубокой скважине № 2489 (Н=1500 м), и уровня грунтовой воды в скважине № 1088 с глубиной 110 м, свидетельствуя о своей чувствительности к воздействиям внешних сил, идущих из недр земли.

Выводы

Основываясь на описание вышеизложенных фактических материалов, можно заключить, что, несмотря на использование различной методики обработки временных рядов, действующие режимные станции на Алматинский прогностический полигон (АПП) и Иссык-Кульском прогностическом полигоне Кыргызстана обладают реальными перспективами в решении проблемы прогнозирования ощутимых и сильных землетрясений, эпицентры которых расположены в радиусе до 500 км.

Полученные ко- и постсейсмические эффекты в вариациях на примере трёх сильных землетрясений $M \geq 6.0$, произошедших в 2013 г. и 2017 г., возникающих в подземных водах, циркулирующих в различных геолого-гидрогеологических условиях и характеризующихся неоднородным набором определяемых параметров, свидетельствуют о наличии пространственно-временной связи с процессами подготовки и реализации землетрясений, а объективное раскрытие механизмов формирования и развития индивидуальности характера (пики, бухты), контрастности и длительности гидроаномалий, не повторяющихся от одного сейсмического события к другому, в первом приближении возможно при идентификации научно-практических усилий в регионах.

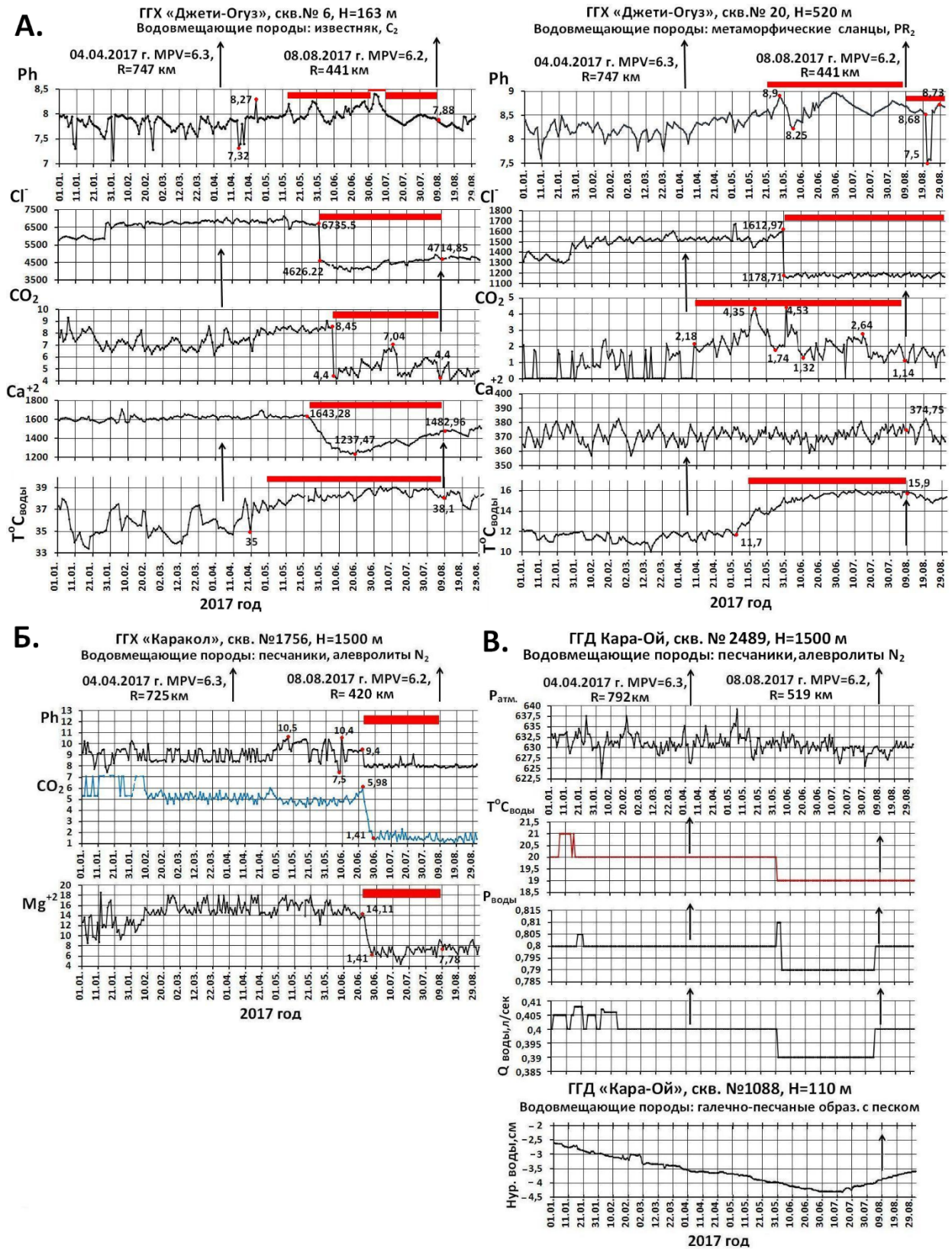


Рис. 10 (А-В). Гидрогеосейсмические вариации, наблюдаемые в периоды подготовки и релаксации землетрясения 08.08.2017 г. с MPV=6.2 (Китай - Северный Синьцзян) в воде скважин на станциях: А. № 6 и № 20 ГГХ «Джеты-Огуз», Б. скв. № 1756 ГГХ «Каракол» и В. Скв. № 2489 и скв. № 1088 ГГД «Кара-Ой».

Литература

1. Абдуллаев А.У., Гав Шав Чи, Мамыров Э.М., Гребенникова В.В., Юсупов Ю., Тукешева Г.Е. Международное сотрудничество гидросейсмологов с целью мониторинга флюидных параметров и прогнозирования сильных землетрясений в Тянь-Шанском сейсмоактивном поясе //Тезисы докладов 6-го Международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Бишкек 23-29 июня 2014 г. Научная станция РАН Международный научно-исследовательский центр – геодинамический полигон в г. Бишкек. Бишкек 2014. – С. 225-227.
2. Киссин И.Г. Гидрогеологический мониторинг земной коры //Физика Земли, 1993, №8. – С. 59-69.
3. Гидрогеодинамические предвестники землетрясений. М.: Наука, 1984. –С. 50-64.
4. Тукешева Г.Е. Соотношение между температурой воздуха и температурой воды самоизливающихся скважин на Алматинском прогностическом полигоне //ҚР ҰҒА–ның Хабарлары. Геологиялықсериясы, Алматы, №4, 2010. – С. 82-86.
5. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели //Геология и геофизика. – 2005. Т.46. № 11. – С. 1176-1190.
6. 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.
7. 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.
8. Тукешева Г.Е., Гребенникова В.В., Кендирбаева Дж.Ж. Гидрогеологический мониторинг в сейсмоактивных районах Кыргызстана и Алматинском Прогностическом Полигоне (АПП) Казахстана //Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXI Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). Якутск, 22-28 июня 2015 г., Якутск 2015 г. – С. 520-525.
9. Миркин Е.Л., Гребенникова В.В. Программа для ЭВМ: «SEISMIC INTENSITY». Кыргызпатент. Авторское свидетельство № 369 от 17 июня 2015 г.
10. Гребенникова В.В., Миркин Е.Л. Метод оперативного расчёта интенсивности сейсмических сотрясений в населённых пунктах (объектах) при сильных землетрясениях //Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ГС РАН, 2017.

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