

КАЗАХСТАН

Н.П. Неверова¹, Н.Н. Михайлова², И.Н. Соколова²¹ГУ СОМЭ КН МОН РК, г. Алматы, neverova_n@rambler.ru²РГП ИГИ МЭ РК, г. Алматы, mikhailova@kndc.kz, sokolova@kndc.kz

В статье приводятся данные о сейсмичности территории Казахстана в течение 2011 года. Действующие сети станций. На территории Казахстана в 2011 г. сейсмические наблюдения проводились двумя организациями: Государственным учреждением «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (ГУ СОМЭ КН МОН РК) и Республиканским государственным предприятием «Институт геофизических исследований» Комитета по атомной энергии Министерства энергетики Республики Казахстан (РГП ИГИ МЭ РК). Каждая организация имеет свои центры обработки данных. Состав сетей сейсмических станций, по сравнению с таковым в 2010 г. [1], несколько изменился. Так, в сеть наблюдений СОМЭ включены станции: «Архарлы» (ARXS), «Басчи» (MNBS), «Дегерес» (DGS), «Известковый» (IZV), «Каратобе» (KTBS), «Кетмень» (KTMS), «Котырбулак» (KOTS), которые ранее эксплуатировались в системе «ВУЛКАН» в автономном режиме. Таким образом, в сети СОМЭ в течение 2011 г. работало 35 трехкомпонентных сейсмических станций, а в сеть ИГИ входили 8 сейсмических групп (Амбулак, Боровое, Восточное, Каратау, Курчатов-Крест, Маканчи, Чкалово, Зеренда) и 7 трехкомпонентных станций: «Актюбинск» (АКТО), «Боровое» (BRVK), «Курчатов» (KURK), «Подгорное» (PDGK), «Маканчи» (MAKZ), «Ортау» (OTUK) и «KNDC» (KNDC) (рис. 1). Параметры всех сейсмических станций и групп даны в Приложениях к наст. ежегоднику [2, 3]. Для более точной локализации гипоцентров землетрясений к обработке материалов СОМЭ МОН РК дополнительно привлекались бюллетени землетрясений некоторых станций Кыргызстана.

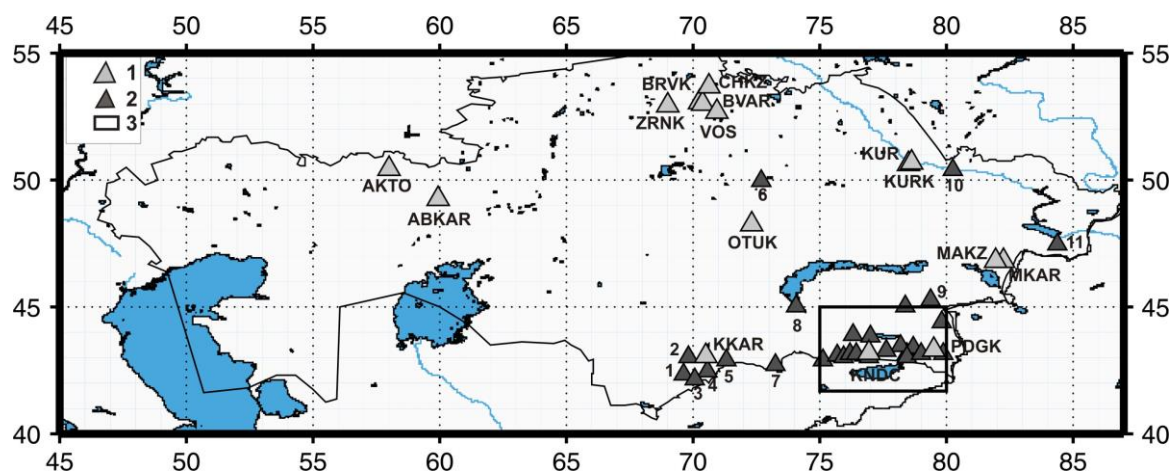


Рис. 1. Схема размещения сейсмических станций на территории Казахстана

1, 2 – сейсмическая станция РГП ИГИ и СОМЭ МОН РК соответственно; 3 – район «Северный Тянь-Шань». Цифрами обозначены следующие станции СОМЭ: 1 – «Чимкент»; 2 – «Боролдай»; 3 – «Южная»; 4 – «Жабаглы»; 5 – «Джамбул»; 6 – «Березняки»; 7 – «Мерке»; 8 – «Байтал»; 9 – «Капал-Арасан»; 10 – «Семипалатинск»; 11 – «Зайсан». Коды семи цифровых станций (ст-«Актюбинск»-АКТО, ст-«Боровое»-BRVK, ст-«Курчатов»-KURK, ст-«Подгорное»-PDG, ст-«Маканчи»-MAKZ, ст-«Ортау»-OTUK, ст-«KNDC»-KNDC) и восьми сейсмических групп (СГ-Зеренда-ZRNK, СГ-Боровое-BVAR, СГ-Чкалово-CHKZ, СГ-Восточное-VOS, СГ-Каратау-KKAR; СГ-Курчатов-Крест-KUR, СГ-Маканчи-MKAR, СГ-KNDC-KNDC) ИГИ НЯЦ РК.

Уровень представительной регистрации землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий по наблюдениям описанной выше сети остается прежним: на всей его территории регистрируются без пропусков землетрясения с $K_{\min}=7.5$, а в центральной части по-

рог представительности более низкий – с $K_{\min}=6.0$ (рис. 2). Для всей территории Казахстана обеспечена представительная регистрация землетрясений с $K_{\min}=9$.

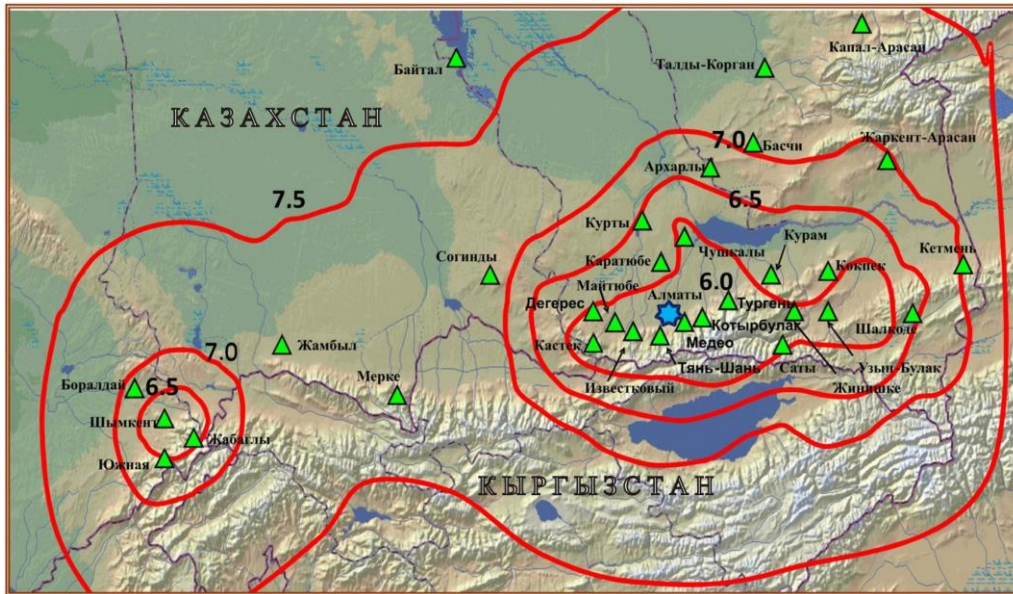


Рис. 2. Карта энергетической представительности регистрации K_{\min} землетрясений Северного Тянь-Шаня в 2011 г.

Методика определения основных параметров землетрясений остается постоянной в течение многих лет [4, 5].

В СОМЭ для интерпретации цифровых записей землетрясений используется разработанная А. Жунусовой система сейсмического анализа «Эпицентр», которая основывается на программе Wgsnplot, где определение основных параметров гипоцентров землетрясений осуществляется пакетом «DIMAS» [5]. Система «Эпицентр» состоит из полного набора программ по обработке сейсмических данных, хранению информации (базы данных), поиску и выдаче данных об основных параметрах землетрясений и времени вступлений различных фаз сейсмических волн. База данных включает в себя каталог событий и станционные базы, в последних хранятся параметры волновых форм записей землетрясений. В систему «Эпицентр» включены различные пакеты программ по автоматическому определению гипоцентра и энергии землетрясения: DIMAS [5], НПО71 [6], ГИР [7]. Последняя создана в Институте сейсмологии МОН РК и основана на алгоритме НПО74 [8]. Особенностью системы «Эпицентр» является то, что определение гипоцентров землетрясений базируется на региональном годографе Северного Тянь-Шаня [9], в основу которого заложена скоростная модель среды с дискретностью по глубине 5 км. Энергетические характеристики (K_p , $MPVA$, $MLV=MS$) рассчитывались по программам, использующим соответствующие калибровочные функции [10–12].

Методика обработки данных в РГП ИГИ МЭ РК соответствует принятой в [13]. Используется программный пакет SEATOOLS, предоставленный казахстанскому центру американским национальным центром данных. Пакет дает возможность обрабатывать совместно данные трехкомпонентных станций и сейсмических групп при локализации событий. Работает Web-сайт Центра данных, куда оперативно помещается вся информация о происходящих событиях. Адрес этого сайта – www.kndc.kz [14].

Каталог землетрясений и карта эпицентров. На территории Северного Тянь-Шаня в 2011 г. определены эпицентры 1426 землетрясений в энергетическом диапазоне $K_p=3.5$ –13.1 [15]. Однако в публикуемый в настоящем ежегоднике каталог [16] из них помещены лишь более сильные ($K_p \geq 6.6$) землетрясения Северного Тянь-Шаня, а на остальной территории Казахстана рассматриваются землетрясения только с $K_p \geq 8.6$ (92 землетрясения). В итоге в каталог [16] всего включено 651 землетрясение с диапазоном энергетических классов $K_p=6.6$ –13.8. Величина землетрясений в каталоге характеризуется энергетическим классом K_p по номограмме Т.Г. Раутиан [10]; магнитудой $MPVA$ по региональной калибровочной кривой для Северного Тянь-Шаня, полученной Н.Н. Михайловой и Н.П. Неверовой [11] (эти определения в основном

относятся к эпицентральных расстояниям $\Delta < 1000$ км); магнитудой MLV , определяемой по поверхностным волнам для относительно сильных землетрясений ($K_p \geq 10.5$) по стандартной номограмме из [12]. Кроме того, усилиями редколлегии в каталог [16] добавлены магнитуды M_s , m_b из бюллетеня ISC [17], M_S , $MPSP$ из Сейсмологического бюллетеня ГС РАН [18], сейсмический момент M_0 и моментная магнитуда Mw_{GCMT} из [19].

Каталог содержит несколько дополнительных Приложений с параметрами механизмов очагов 44 землетрясений [20], макросейсмическим эффектом 30 ощутимых землетрясений [21], сведений о координатах сотрясенных в 2011 г. 17 населенных пунктов [22], параметрах 294 афтершоков Капчагайского землетрясения [23], а также информации о двух сетях сейсмических станций [2, 3].

На рис. 3 представлена карта эпицентров землетрясений с $K_p \geq 8.6$ на всей территории Казахстана и приграничных районов. Как видим, такие землетрясения локализируются, в основном, в горной местности юго-востока и востока Казахстана.

На западе Казахстана отмечены только два эпицентра землетрясений: помеченное звездой в прибрежье Каспия событие 21 февраля в $09^h 03^m$ с $K_p = 8.4$ и более северное землетрясение 30 декабря в $23^h 58^m$ с $K_p = 9.8$. Первое слабее энергетической границы каталога $K_p = 8.6$, но все же включено в каталог из-за вызванных им сотрясений в 3–4 балла по шкале MSK-64 [24] при возможно техногенной его природе. Второе интересно тем, что возникло в очаговой зоне Шалкарского землетрясения [25]. Оба они детально рассмотрены в конце статьи. Вся северная и центральная части Казахстана без единого землетрясения $K_p \geq 8.6$.

Рассмотрим отдельно выделенную рамкой территорию Северного Тянь-Шаня.

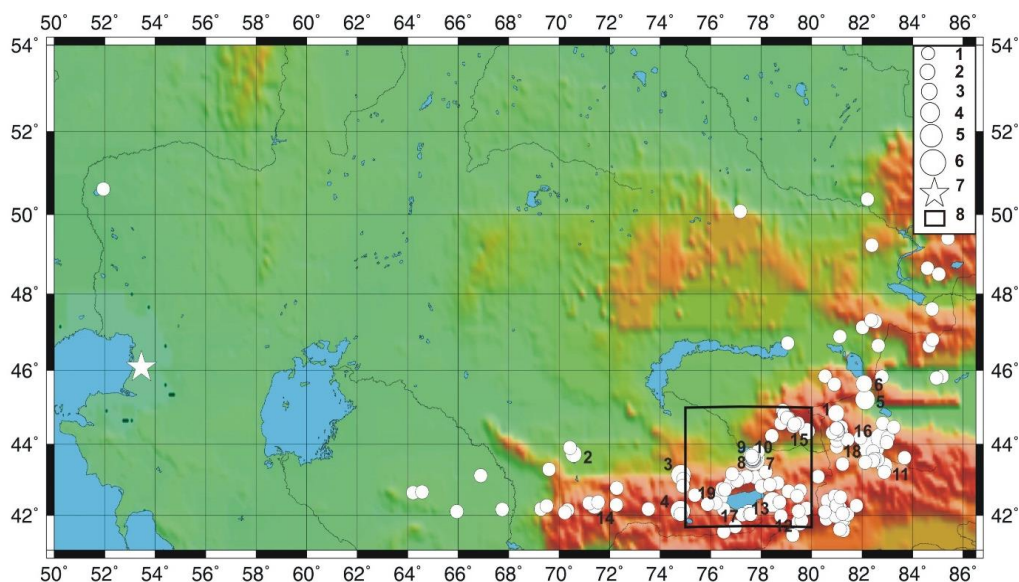


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Казахстана с $K_p \geq 8.6$ (рамкой выделен район «Северный Тянь-Шань»)

Пронумерованы сильные ($K_p \geq 10.6$) землетрясения в соответствии с графой 2 каталога землетрясений Северного Тянь-Шаня [16]; звездочкой обозначен эпицентр техногенного Тенгизского землетрясения 21 февраля $K_p = 8.4$.

Северный Тянь-Шань. Как указано выше, за 2011 г. на территории Северного Тянь-Шаня зарегистрировано 1426 землетрясений $K_p \geq 3.5$ [15], распределение которых по классам представлено в табл. 1. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в их очагах, равна $\Sigma E = 11.54 \cdot 10^{12}$ Дж. Наблюдается незначительное снижение сейсмической активности данного района по сравнению с таковой в 2010 г., когда суммарная энергия равнялась $\Sigma E = 12.78 \cdot 10^{12}$ Дж [1].

Таблица 1. Распределение землетрясений Северного Тянь-Шаня по энергетическим классам в 2011 г.

K_p	≤ 5	6	7	8	9	10	11	12	13	N_{Σ}	$\Sigma E, Дж$
$N(K)$	427	581	289	82	31	10	4	1	1	1426	$11.54 \cdot 10^{12}$

В наиболее активной Заилийско-Кунгейской зоне зарегистрировано 629 землетрясений (табл. 2).

Таблица 2. Число землетрясений $N(K)$ в Заилийско-Кунгейской части Северного Тянь-Шаня в 2011 г.

K_p	≤ 5	6	7	8	9	10	11	N_Σ	$\Sigma E, Дж$
$N(K)$	312	222	71	11	11	1	1	629	$0.11 \cdot 10^{12}$

Карта эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня с $K_p \geq 6.6$ представлена на рис. 4, где хорошо видно отсутствие землетрясений в акватории оз. Иссык-Куль.

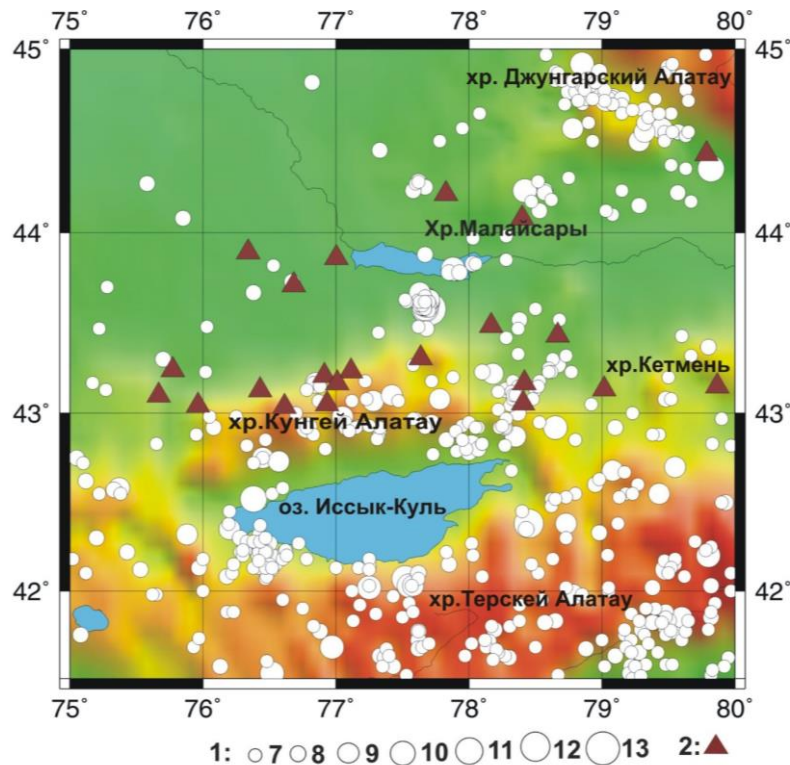


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня с $K_p \geq 6.6$ за 2011 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмическая станция СМЭ МОН РК.

Капчагайское землетрясение. Главным событием 2011 г. на территории Северного Тянь-Шаня является, несомненно, Капчагайское землетрясение 1 мая в 02^h31^m с $K_p=13.1$, $MLV=4.3$ [16]. Оно ощущалось в г. Алматы с интенсивностью $I_i=4-5$ баллов, а в ближайшем к эпицентру селе Маловодное – 6 баллов по шкале MSK-64 [24]. Его эпицентр находился на южном побережье Капчагайского водохранилища (рис. 3, 4), в зоне слабой сейсмической активности Илийской впадины с фоновым значением $A_{10}=0.02$.

На рис. 5 приведена локальная карта эпицентров землетрясений района Капчагайского водохранилища с 1960 г. до 2011 г. Параметры сильнейших из них с $K_p \geq 12$ представлены в табл. 3.

Капчагайское землетрясение является уникальным и по местоположению, и по характеру. Сейсмические действия в течение первых суток развивались по следующему сценарию. Примерно за два часа до основного толчка (в 00^h07^m) был зарегистрирован форшок с $K_\phi=5.9$, хотя был и более ранний форшок (21 апреля в 14^h50^m с $K_p=4.9$) [23]. После главного события с энергией $K_p=13.1$ в течение семи часов последовало 46 афтершоков с $K_p=5-10$. За два дня (1 и 2 мая) произошло 7 ощутимых в г. Алматы афтершоков с интенсивностью от 2 до 4 баллов [16], что подтверждает неординарность данного события. В «инструментальном прошлом» в непосредственной близости от исследуемого очага землетрясение с такой же энергией ($K_p=13.0$) наблю-

далось 23.08.1960 г. (рис. 5, табл. 3) и сопровождалось единственным афтершоком с $K_p=7.0$. Предтечей Капчагайского землетрясения является, по-видимому, подземный толчок 20.04.2010 г. на северном побережье Капчагайского водохранилища с $K_p=11.8$, с $\varphi=43.82^\circ N$, $\lambda=78.03^\circ E$ [30].

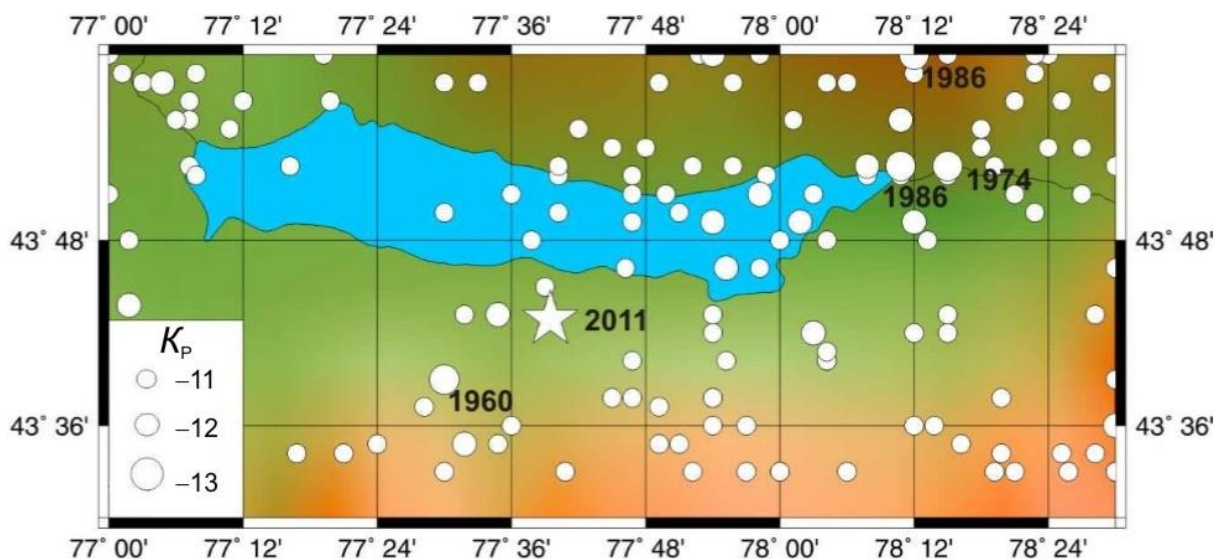


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений района Капчагайского водохранилища ($\varphi=43.58-43.83^\circ$, $\lambda=77.00-78.50^\circ$) за 1960–2011 гг.

Звездочка – основной толчок Капчагайского землетрясения; годы проставлены возле эпицентров землетрясений с $K_p \geq 12$.

Таблица 3. Параметры сильных ($K_p \geq 12$) событий в районе Капчагайского водохранилища за 1960–2011 гг.

Дата, д м год	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	h , км	K_p	Источ- ник	Дата, д м год	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	h , км	K_p	Источ- ник
23.08.1960	04 51 00.0	43.65	77.50	13.0	[26, 27]		14.02.1986	01 52 01.0	44.00	78.20	20	12.7	[29]
04.03.1974	14 03 56.8	43.88	78.25	12.2	[28]		10.05.1986	12 47 41.0	43.88	78.18	12	12.4	[29]

Эпицентры афтершоков плотно сгруппированы в область северо-западного простираения от основного события, указывая направление развивающегося процесса. Последующие сильные толчки (с $K_p=11.7$ в 09^h13^m , с $K_p=11.4$ – в 11^h37^m и с $K_p=11.3$ – в 20^h29^m) подтвердили это предположение: азимутальное расположение их эпицентров относительно главного толчка согласуется с «облаком» афтершоков (рис. 6). Таким образом, на поверхности обозначились проекции начальной (координаты эпицентра основного толчка) и последующих (координаты эпицентров сильнейших афтершоков) точек плоскости разрыва в очаге.

График распределения количества афтершоков за первые сутки ($N=101$) показан на рис. 7. Распределение их по энергии за этот же промежуток времени представлено на рис. 8. Капчагайское землетрясение

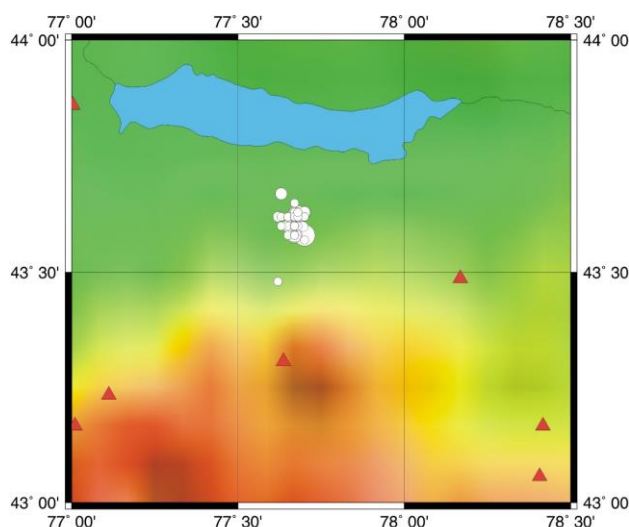


Рис. 6. Эпицентр Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. и его афтершоков за первые сутки (треугольники – станции COMЭ МОН РК)

отличается необычайно импульсивным характером афтершоков по энергии в течение первых суток после основного толчка: серия слабых ($K_p=5-8$) афтершоков дополнена одним афтершоком с $K_p=12$ (1 мая в 09^h13^m с $K_p=11.7$), двумя – с $K_p=11$ (1 мая в 11^h37^m с $K_p=11.4$ и в 20^h29^m с $K_p=11.3$) и несколькими афтершоками 9–10 классов [16]. Если по количеству событий в первые сутки наблюдается затухание, то по энергии этого практически не видно (рис. 8).

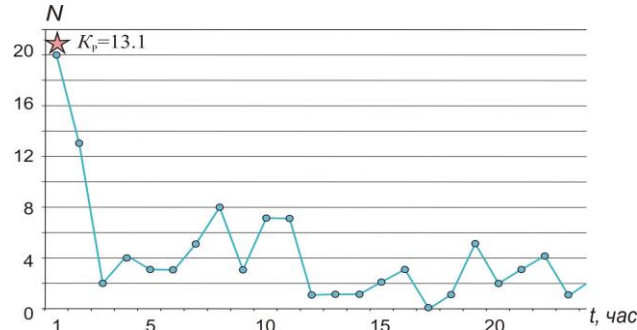


Рис. 7. Затухание количества афтершоков Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. в течение первых суток после основного события

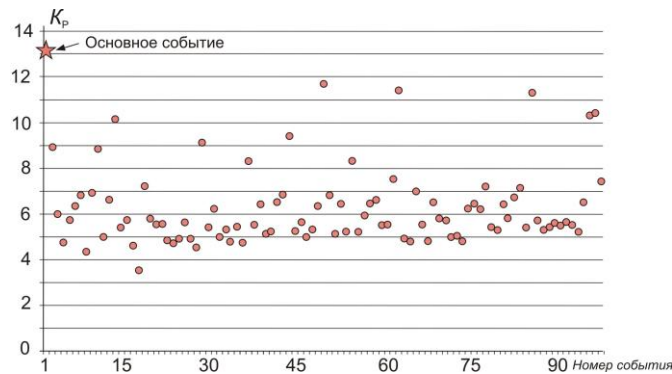


Рис. 8. Изменение энергетического класса афтершоков Капчагайского землетрясения за 1–3 мая 2011 г.

Переломный момент в энергии регистрируемых афтершоков наступил только 3 мая, когда наметилась тенденция к ее снижению. В дальнейшем процесс афтершоковой деятельности приобрел стандартный затухающий характер (рис. 9). За май-месяц всего зарегистрировано 247 землетрясений из этого очага, а до конца года – 294 [23].

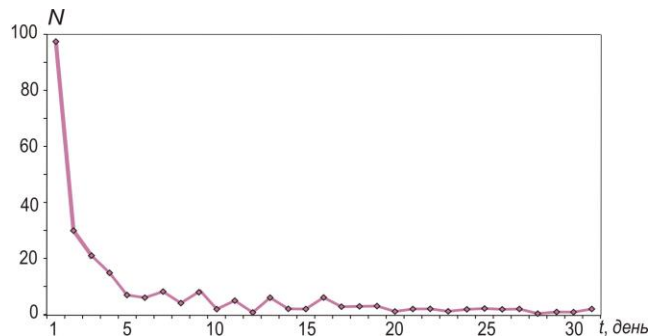


Рис. 9. Затухание количества афтершоков Капчагайского землетрясения в течение мая 2011 г.

Капчагайскому землетрясению 1 мая 2011 г. посвящена отдельная статья в настоящем ежегоднике [31]. Параметры сильных движений по станциям ИГИ описаны в работе [32].

Землетрясение 18 марта. Второе по величине энергии землетрясение, зарегистрированное в Северном Тянь-Шане, произошло в западных отрогах хребтов Заилийского Алатау 18 марта 2011 г. в 09^h36^m с $K_p=11.6$, $MPVA=5.5$, $MLV=3.6$ [16]. Для него в [20] даны параметры механизма очага, приведенные в табл. 4, а стереограмма на рис. 10.

Таблица 4. Параметры механизма очага землетрясения 18 марта в 09^h36^m с $K_p=11.6$

Агент-ство	t_0 , ч мин с	h , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источ-ник
			T		N		P		$NP1$			$NP2$			
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
ИГИ	09 36 26.9	10	23	263	53	139	27	6	43	53	-3	135	87	-143	[20]



Рис. 10. Стереограмма механизма очага землетрясения 18 марта 2011 г. с $K_p=11.6$ в проекции нижней полусферы
1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Согласно этим данным, в его очаге произошла подвижка типа сдвиг, правосторонний по вертикальной плоскости $NP2$ юго-восточного простирания и левосторонний – по плоскости $NP1$ северо-восточного простирания.

Это землетрясение сопровождалось небольшой серией афтершоков. Эпицентры афтершоков 6–8 энергетических классов и одного афтершока (23 марта в 20^h19^m) с $K_p=9.8$ рассредоточены в пространстве и времени (табл. 5).

Таблица 5. Основные параметры главного толчка 18 марта в 09^h36^m с $K_p=11.6$ и его афтершоков

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Гипоцентр				K_p	$MPVA$	MLV
			φ°, N	λ°, E	$h, км$	$h, км$			
Основной толчок									
	18.03	09 36 26.9	43.15	74.83	10	11.6	5.2	3.6	
Афтершоки									
1	23.03	20 19 44.0	43.15	74.92	10	9.8	4.3		
2	03.04	21 12 16.0	43.13	75.27	15	6.9	3.0		
3	10.04	20 41 59.2	43.70	75.28	15	6.7	2.8		
4	17.05	02 32 42.1	42.83	74.90	15	9.4	4.3		
5	21.08	21 24 10.0	43.47	75.22	20	6.8	3.1		
6	15.09	23 03 45.2	43.17	75.17	5	6.6	3.0		

Землетрясение 1 ноября. Вне Северного Тянь-Шаня самым сильным сейсмическим событием на рассматриваемой территории Казахстана и близких к нему районов в течение 2011 г. было землетрясение 1 ноября в 00^h21^m с $K_p=13.8$, $MPVA=6.2$, $MLV=5.4$ в приграничном районе Казахстана и Синьцзян-Уйгурского автономного округа КНР ($\varphi=43.92^\circ N$, $\lambda=82.38^\circ E$). Оно проанализировано многими агентствами; 11 решений представлены в табл. 6.

Таблица 6. Основные параметры землетрясения 1 ноября 2011 г. с $K_p=13.8$, $M_w=5.6$ по региональным данным (СОМЭ и ИГИ) в сопоставлении с определениями других агентств

Агент-ство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ-ник
			φ°, N	δ , км	λ°, E	δ , км	h , км	δh , км		
СОМЭ	00 21 25.6		43.917		82.383		10		$K_p=13.8$, $MLV=5.4/8$, $MPVA=6.2/30$	[16]
ИГИ, NNC	00 21 29.56	1.21	43.747	10.5	82.384	10.5	26.8	7.1	$K_p=14.1$, $m_b=6.3$, $m_{pv}=6.0$	[14]
MOS	00 21 27.5	0.91	43.617	4.8	82.440	3.7	37		$M_S=5.4/111$, $MPSP=6.2/121$	[18]
ISC	00 21 27.49	0.21	43.626	3.2	82.414	2.5	26.2	1.3	$M_S=(5.5\pm 0.2)/466$, $m_b=(6.0\pm 0.3)/554$	[17]
ISCJB	00 21 24.26	0.54	43.594	2.1	82.452	1.6	15	3.8		– " –
ВЛ	00 21 27.1		43.60		82.45		28		$M_S=5.7/58$, $m_b=5.6/71$, $M_l=6.1/10$	– " –
NEIC ₁	00 21 28.0		43.73		82.24		35		$M_S=5.4/300$, $m_b=6.0/295$, $M_w=5.4$	– " –
NEIC ₂	00 21 28.09	0.07	43.648	2.3	82.437	1.9	28f		$M_w=5.6$	– " –
GCMТ	00 21 28.1	0.10	43.55	1.1	82.41	1.1	39.2	0.5	$M_w=5.6/131$, $M_0=2.648 \cdot 10^{17} H \cdot м$	– " –
IDC	00 21 28.36	0.36	43.689	8.1	82.423	6.3	27.9	2.1	$M_S=(5.2\pm 0.1)/49$, $m_b=(5.6\pm 0.1)/43$, $M_l=(5.0\pm 0.1)/9$	– " –

Совмещение всех решений на рис. 11 обнаруживает расхождение региональных решений СОМЭ и ИГИ с остальными.

Рис. 11. Сопоставление решения эпицентра землетрясения 1 ноября с $K_p=13.8$ по региональным данным (СОМЭ и ИГИ) с определениями других агентств

1 – инструментальные эпицентры по данным СОМЭ и ИГИ; 2 – решения по данным других сейсмологических служб; 3 – населенный пункт.

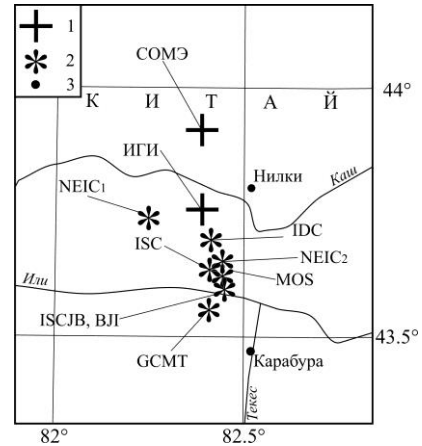


Таблица 7. Параметры механизма очага землетрясения 1 ноября в 00^h21^m с $K_p=13.8$

Агент-ство	t_0 , ч мин с	h , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ис-точ-ник
			T		N		P		NP1			NP2			
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
ИГИ, NNC	00 21 29.56	26.8	68	82	21	277	5	185	113	53	117	254	44	59	[14]
GCMT	00 21 28.1	39	71	357	0	87	19	178	87	64	90	268	26	91	[19]
NEIC 1	00 21 28	35	61	351	0	259	28	169	80	73	91	257	17	87	[33]
NEIC 2	00 21 28.1	28f	70	350	0	0	20	170	80	65	90	260	25	90	– " –
NEIC 3			78	338	79	2	12	169	78	57	87	262	33	94	– " –

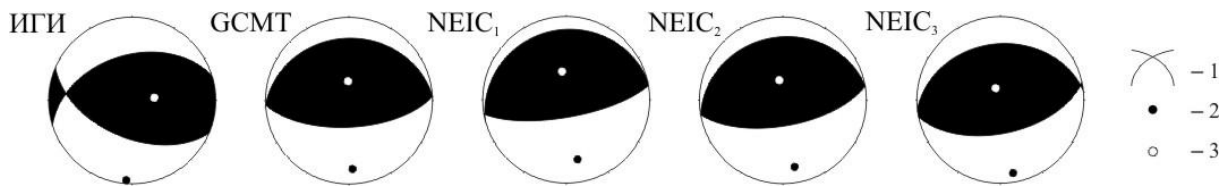


Рис. 12. Стереогаммы механизма очага землетрясения 1 ноября 2011 г. с $K_p=13.8$, $M_{w,GCMT}=5.6$ в проекции нижней полусферы

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Согласно приведенным в табл. 7 и на стереогаммах (рис. 12) данным, тип подвижки в его очаге по данным ИГИ соответствует взбросу с компонентами правостороннего сдвига по плоскости NP1 и левостороннего – по NP2, и чистому взбросу по обеим плоскостям – по остальным четырем решениям.

Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 448 км от г. Алматы. Оно ощущалось в городе с интенсивностью $I_f=3$ балла по шкале MSK-64 [24]. Сведения в эпицентре дает агентство NEIC [33]: более 2453 домов разрушены, около 3800 человек эвакуированы и, по меньшей мере, 10.5 млн долларов США ущерб в Синьцзяне. Сотрясения в Китае составили IV балла в Инине(Yining) по шкале MM [34]. Также оно ощущалось в Аксу(Aksu) и Чангджи(Changji). В пределах Казахстана интенсивность сотрясений составила IV MM в Сарканде (Sarkand), II MM – в Алматы; также ощущалось в Усть-Каменогорске, Таразе и Текели. Расчетная по осредненному уравнению Н.В. Шебалина [35] интенсивность сотрясений I_0 в эпицентре

$$I_0=1.5 M - 3.5 \lg r + 3.0,$$

при магнитуде $M_{w,GCMT}=5.6$ и двум вариантам глубины очага $h_{СОМЭ}=10$ км $h_{рр}=26$ км равна 7.9 или 6.4 балла по шкале MSK-64 [24]. Судя по описанным разрушениям, более вероятно примерно 7–8-балльная интенсивность.

В табл. 8 представлены параметры сильных движений по станциям ИГИ при этом землетрясении.

Таблица 8. Параметры сейсмических воздействий землетрясения 1 ноября в 00^h21^m 2011 г.

Дата, д мес	t_0 , ч мин с	Код станции	Δ , км	I , балл	a , см/с ²			v , см/с			$T_{\text{уск.}}$, с	$T_{\text{скор.}}$, с
					E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
01.11	00 21 25.6	PDG	224		1.7	1.8	1.4	0.33	0.35	0.22	1.1	1.1
01.11	00 21 25.6	MAKZ	337		0.4	0.3	0.5	0.12	0.11	0.18	1.5	1.5
01.11	00 21 25.6	KNDC	427	2–3	0.5	0.6	0.3	0.07	0.07	0.04	0.7	0.7

Землетрясение 12 апреля. Большой интерес представляют события на той территории Казахстана, которая традиционно считается несейсмичной или слабосейсмичной. Так 12 апреля 2011 г. в 22^h19^m на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона в районе хребта Муржик (координаты эпицентра $\varphi=50.08^\circ\text{N}$, $\lambda=77.17^\circ\text{E}$) произошло землетрясение с $K_p=9.7$, $MPVA=4.0$ [16]. Для него есть решения и других агентств (табл. 9). Разброс по широте составил $\Delta\varphi=0.79^\circ$, а по долготе значительно меньше – всего $\Delta\lambda=0.23^\circ$.

Таблица 9. Основные параметры Муржикского землетрясения 12 апреля 2011 г. с $K_p=9.7$ по региональным данным (СОМЭ и ИГИ) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			φ°, N	δ , км	λ°, E	δ , км	h , км	δh , км		
СОМЭ	22 19 59.7		49.633		77.001		10	5	$K_p=9.7$, $m_b=4.0/22$	[16]
ИГИ, NNC	22 19 53.18	0.58	50.085	7.8	77.143	3.8	5	29	$K_p=9.4$, $m_b=4.0$, $m_{pv}=3.6$, 5 st	[17]
ВЛ	22 19 48.8		50.42		77.03		8	6	$M_s=3.7/1$, $M_l=3.9/2$, $m_b=4.4/1$	– " –
IDC	22 19 55.01	1.62	50.038	11.3	77.237	7.8	7.7	14.8	$m_b=(3.4\pm 0.2)/5$, $M_l=(3.4\pm 0.1)/5$	– " –
ISC	22 19 53.3	0.64	49.938	4.2	77.134	4.0	4f			– " –

В региональном каталоге механизмов [20] для этого землетрясения имеются параметры, приведенные в табл. 10 и на рис. 13.

Таблица 10. Параметры механизма очага Муржикского землетрясения 12 апреля 2011 г. с $K_p=9.7$

Агент- ство	t_0 , ч мин с	h , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					Источник	
			T		N		P		$NP1$			$NP2$			
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP		$SLIP$
ИГИ	22 19 59.7	10	13	219	36	319	51	12	273	45	–146	157	67	–49	[20]

12.04

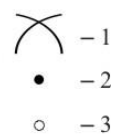
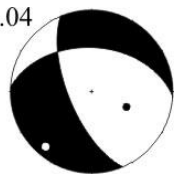


Рис. 13. Стереограмма механизма очага Муржикского землетрясения 12 апреля 2011 г. с $K_p=9.7$ в проекции нижней полусферы
1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Согласно этим данным, подвижка в его очаге типа сброс с заметными компонентами левостороннего сдвига по крутой плоскости юг–юго-восточного простирания $NP2$ и правостороннего – по плоскости $NP1$ широтного простирания и с меньшим наклоном.

Сейсмические события на территории Семипалатинского испытательного полигона представляют большой интерес как для специалистов в области распознавания природы источника в связи с изучением ядерных взрывов, так и для специалистов в области изучения геодинамики крупных ядерных полигонов. Эта информация важна для достоверной оценки сейсмической опасности этого района, так как в районе полигона находятся действующие исследовательские атомные реакторы, хвостохранилища ядерных отходов и объекты инфраструктуры полигона, которые вследствие разрушения могут представлять экологическую опасность для Восточного Казахстана и Западной Сибири.

Землетрясение 30 декабря. Другое необычное землетрясение произошло 30 декабря в 23^h58^m в Западном Казахстане ($\varphi=50.6^\circ\text{N}$, $\lambda=51.9^\circ\text{E}$) с $K_p=9.8$, $MPVA=3.9$. Этот район отнесен к несейсмичным по карте общего сейсмического районирования Казахстана [36]. Однако, как отмечено ранее в работе [37], в этом же районе 06.04.2008 г. произошло Шалкарское землетрясение с $K_p=11.1$, $MPVA=5.3$, которое вызвало многочисленные разрушения в Теректинском районе Западно-Казахстанской области, интенсивность в пос. Рыбцех составила 7–8 баллов [37, 25]. Эта информация свидетельствует, что в этом районе происходят геодинамические явления, которые необходимо изучать специально, возможно, установив здесь специальную сеть сейсмических станций.

Землетрясение 21 февраля. Еще одно ощутимое землетрясение с $K_p=8.4$, $MPVA=3.1$ произошло 21 февраля 2011 г. в 09^h03^m в Западном Казахстане, в Прикаспии (рис. 2), на территории нефтяного месторождения «Тенгиз» (46.083 N, 53.45 E). Оно обработано в ряде агентств, результаты представлены в табл. 11 и на рис. 14.

Таблица 11. Основные параметры Тенгизского землетрясения 21 февраля 2011 г. с $K_p=8.4$, $I_0=3-4$ по региональным данным (ИГИ) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда		Источ- ник
			φ° , N	δ , км	λ° , E	δ , км	h , км	δh , км		
ИГИ, NNC	09 03 25.8		46.21		54.16		9		$K_p=8.4$, $m_b=3.7$, $m_{pv}=3.1/5$	[14]
MOS	09 03 20.5	1.7	46.15	11.8	53.47	8.5	25		$MPSP=4.0/5$	[18]
ISC	09 03 23.3	0.6	46.06	11.8	53.59	5.9	0f		$m_b=(3.7\pm 0.2)/7$	[17]
ISCJB	09 03 21.4	0.4	46.09	9.6	53.51	3.9	33f			– " –
IDC	09 03 20.1	0.9	46.18	17.7	53.40	8.1	0f		$m_b=(3.7\pm 0.1)/6$, $M_l=(3.6\pm 0.2)/9$	– " –
CSEM	09 03 22.1	0.3	46.03	15.3	53.59	5.7	20f		$m_b=(3.8\pm 0.3)/4$	– " –

Из рис. 14 виден отскок решения ИГИ от всех остальных, расположенных достаточно компактно.

Землетрясение ощущалось работниками компании с интенсивностью 3–4 балла. На рис. 15 представлены сейсмические записи этого землетрясения по станциям ИГИ РК.

С большой вероятностью природа этого события техногенная [37]. В каталог [16] это землетрясение включено, несмотря на то, что его энергетический класс ниже порогового, включаемого для всей территории Казахстана. Оно представляет особую важность для изучения сейсмичности Казахстана, поскольку рассматриваемый район относится к асейсмичным, но в районе находится крупное нефтегазовое месторождение, и существует высокая степень сейсмического риска в связи с возникновением таких техногенных землетрясений.

Специальное исследование предшествующей этому событию сейсмичности района Тенгизского месторождения показало следующее. Гигантское нефтегазовое месторождение Тенгиз в Атырауской области РК было открыто в 1979 г., а в апреле 1991 г. началась промышленная разработка месторождения. И уже в 1997 г. 19 февраля в 07^h09^m и 6 апреля в 21^h42^m вблизи месторождения Международными сейсмическими Центрами были зарегистрированы сейсмические события с магнитудами $m_b=3.4$ и $m_b=3.5$ соответственно [38, 33, 18, 14, 17]. Событие 19 февраля 1997 г. было зарегистрировано 6 сейсмическими станциями мира, минимальное эпицентрального расстояние составило 943 км, оси эллипса ошибок

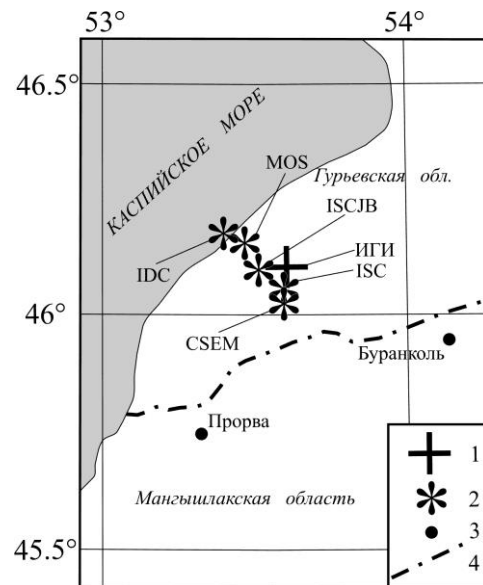


Рис. 14. Сопоставление решения эпицентра Тенгизского землетрясения 21 апреля 2011 г. с $K_p=8.4$, $I_0=3$ по региональным данным (ИГИ) с определениями других агентств

1 – инструментальный эпицентр по данным ИГИ; 2 – решения по данным других сейсмологических служб; 3 – населенный пункт; 4 – административная граница.

$l_{\max}=20.1$ км, $l_{\min}=12.6$ км [17], событие 6 апреля 1997 г. было зарегистрировано четырьмя сейсмическими группами в диапазоне эпицентральных расстояний 2454–7899 км. Поскольку станции расположены на значительных расстояниях, то точность локализации невелика, нельзя однозначно утверждать, что эти сейсмические события находились именно на территории месторождения. Однако совершенно достоверно известно то, что до 1997 г. в международных и региональных сейсмологических бюллетенях мировых служб события из этого района полностью отсутствовали.

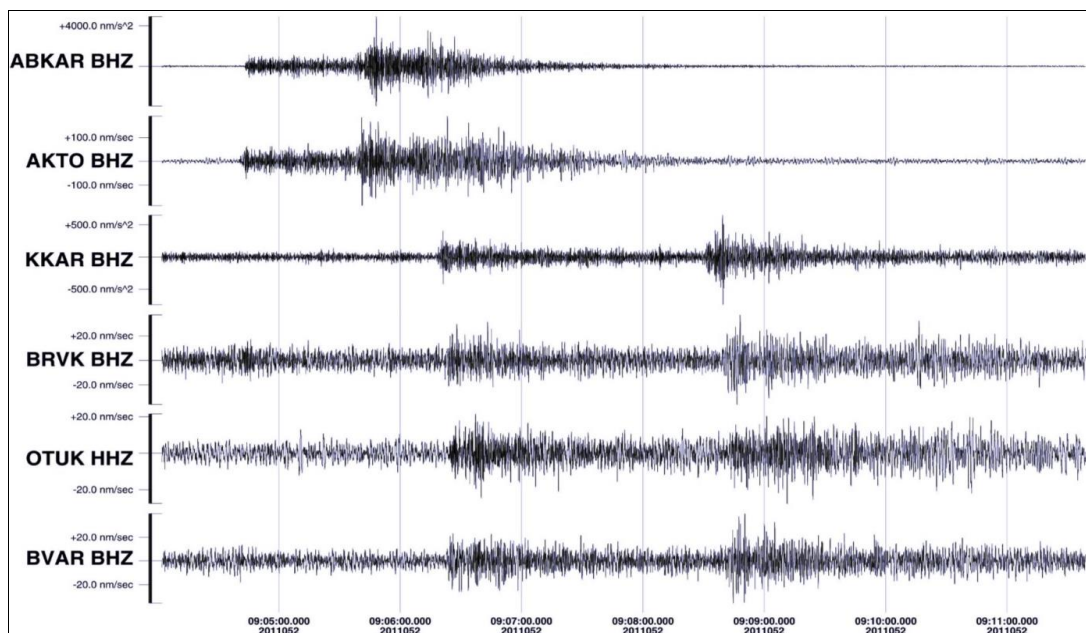


Рис. 15. Сейсмограммы землетрясения 21 февраля 2011 г. в 09^h03^m из района Тенгизского месторождения

Казахстанские станции в районе Западного Казахстана начали работу только с 1994 г. Широкополосная трехкомпонентная сейсмическая станция «Актюбинск» открылась в 1994 г., сейсмическая группа Акбулак – в 2004 г. Эти станции ИГИ расположены на расстояниях от месторождения Тенгиз ~570 км и ~600 км соответственно (рис. 1). За период 2005–2011 гг. из района месторождения Тенгиз сетью ИГИ были зарегистрированы и обработаны шесть сейсмических событий с магнитудами $m_{\text{Dv}}=2.1\text{--}3.1$, энергетическими классами $K_p=6.1\text{--}8.4$ (табл. 12). Наибольшее количество землетрясений было зарегистрировано в 2011 г.

Таблица 12. Параметры землетрясений на территории Тенгизского месторождения

№	Дата д м год	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	m_b	m_{Dv}	ML	K_p	n станций	Источ- ник
1	19.02.1997	07 09 55.5	45.3800	55.4200	3.4		4.0		5	EIDC
		07 09 57.3	45.3290	55.3530	3.3				5	NEIC
		07 09 57.5	45.3081	55.3493	3.4				6	ISC
2	06.04.1997	21 42 10.0	46.3910	54.0810	3.5				4	EIDC
3	28.08.2005	13 45 15.3	45.8830	52.3686		2.4		6.4	2	ИГИ
4	31.01.2010	14 58 42.2	46.2712	53.9197		2.5		6.6	2	ИГИ
5	18.02.2011	08 56 43.0	46.7452	53.3135		2.1			2	ИГИ
6	21.02.2011	09 03 20.2	46.1780	53.4023	3.7		3.6		18	IDC
		09 03 20.5	46.146	53.474	4.0				23	MOS
		09 03 22.1	46.0287	53.5924	3.8				20	EMSC
		09 03 25.8	46.2096	54.1584	3.7	3.1		8.4	5	ИГИ
		09 03 23.3	46.0621	53.5943	3.7				48	ISC
7	10.03.2011	12 32 43.6	46.1946	53.7604		2.5		6.2	2	ИГИ
8	30.04.2011	15 37 22.6	46.6997	53.3706		2.7		6.1	2	ИГИ

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к настоящему ежегоднику.

В заключение настоящего обзора следует отметить, что 2011 год был интересным в сейсмическом отношении для территории Казахстана. Произошли довольно сильные землетрясения как в традиционно сейсмически активных областях, так и в довольно спокойных, например, на севере от Алматы вблизи Капчагайского водохранилища, где каждое событие – это неожиданность для сейсмологов. «Асейсмичный» запад Казахстана проявился как природным (30.12. в 23^h58^m), так и техногенным (21.02 в 09^h03^m [16]) событиями. И те, и другие требуют пристального внимания со стороны ученых.

Л и т е р а т у р а

1. **Неверова Н.П., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.** Казахстан // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 151–158.
2. **Гессель М.О., Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК) (сост.).** Сейсмические станции Сейсмологической опытно-методической экспедиции Министерства образования и науки Республики Казахстан в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
3. **Соколова И.Н. (РГП ИГИ МЭ РК) (сост.).** Сейсмические группы и станции Республиканского государственного предприятия «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
4. **Бейсенбаев Р.Т., Ли А.Н., Калмыкова Н.А., Неверова Н.П., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.** Казахстан // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 130–141.
5. **Дрозин Д.В., Дрознина С.Я.** Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS. // Сейсмические приборы. –2010. – № 3. – С. 22–34.
6. **Lee W.H.K. and Lahr J.C.** HYPO-71 (Revised) A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion patting of local earthquakes. USGS Survey open-file report, 1975. – June. – P. 75–311.
7. **Разаков Е.Р.** К вопросу модернизации алгоритма определения параметров гипоцентра землетрясений // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 108–112.
8. **Епифанский А.Г., Кушнир Г.С.** Определение параметров очагов локальных землетрясений в автоматической системе прогноза землетрясений СВК АСПС // Алгоритмы и практика определения параметров гипоцентра землетрясений на ЭВМ. – М.: Наука, 1983. – С. 52–63.
9. **Шацков В.И.** Обоснование способа массового определения координат местных землетрясений // Вопросы прогноза землетрясений. – Душанбе: Дониш, 1982. – С. 173–196.
10. **Раутиан Т.Г.** Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
11. **Михайлова Н.Н., Неверова Н.П.** Калибровочная функция σ (Δ) для определения *MPVA* землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 41–48.
12. **Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР.** – М.: Наука, 1982. – 273 с.
13. **Михайлова Н.Н., Синева З.И.** Обработка данных сейсмических станций НЯЦ РК. // Вестник НЯЦ РК, 2002. – Вып. 2 (10). – С. 64–68.
14. **Казахстанский национальный центр данных.** – URL: <http://www.kndc.kz/index.php/ru>.
15. **Неверова Н.П., Проскурина Л.П., Бектурганова Б.Б., Проскурина А.В., Далебаева Ж.А., Досайбекова С.К. (сост.).** Каталог (оригинал) землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2011 г. с $K_p > 3.5$ ($N=1426$). – Алматы: Фонды СОМЭ, 2011. – 29 с.
16. **Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК), Михайлова Н.Н. (РГП ИГИ МЭ РК) (отв. сост.), Проскурина Л.П., Бектурганова Б.Б., Проскурина А.В., Далебаева Ж.А., Досайбекова С.К. (СОМЭ МОН РК), Мукамбаев А.С. (РГП ИГИ МЭ РК) (отв. сост.).** Каталог землетрясений Казахстана за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
17. **International Seismological Centre (ISC),** On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.

18. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2011 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2011–2012. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2011.
19. **Global Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog Search**. – URL: <http://www.globalcmt.org/>.
20. **Полешко Н.Н. (РГП ИГИ МЭ РК) (отв. сост.), Досайбекова С. К. (СОМЭ МОН РК) (сост.)**. Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
21. **Неверова Н.П., Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. (отв. сост.), Левина В.И., Михайлова Р.С. (сост.)**. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Казахстана и прилегающих территорий в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
22. **Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК), Михайлова Н.Н. (РГП ИГИ КАЭ МЭ РК), Артёмова А.В., Пойгина С.Г., Бахтиярова Г.М. (сост.)**. Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Казахстана за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
23. **Неверова Н.П. (сост.)**. Афтершоки Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $K_p=13.1$, $M_w=5.2$, $I_0=6$ // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
24. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага)**. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
25. **Михайлова Н.Н., Великанов А.Е.** Шалкарское землетрясение 26 апреля 2008 г. с $K_p=11.1$, $M_w=5.1$, $I_0=7$ (Западный Казахстан) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 304–312.
26. **Среднеазиатская зона. Подробные данные о землетрясениях** // Бюллетень сети сейсмических станции СССР. – 1960. – № 2, апрель–июнь. – М.: Совет по сейсмологии АН СССР, 1961. – С. 69.
27. **Mikhailova N.N., Mukambayev A.S., Aristova I.L., Kulikova G., Shahid Ullah**. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 // *Annals of Geophysics*. – 2015. – 58. – N 1. – 9 с.
28. **Уразаев Б.М., Оспанов А.Б., Михайлова Н.Н.** Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня за 1974 г. // Землетрясения в СССР. – М.: Наука, 1977. – С. 103–105.
29. **Михайлова Н.Н. (отв. сост.), Шипулина С.А., Ахметова Р.А., Спирова В.В., Каюпова Г.А.** Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня за 1986 г. // Землетрясения в СССР. – М.: Наука, 1977. – С. 267–274.
30. **Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК), Михайлова Н.Н. (РГП ИГИ КАЭ МЭ РК) (отв. сост.), Проскурина Л.П., Бектурганова Б.Б., Проскурина А.В., Далебаева Ж.А., Досайбекова С.К. (от СОМЭ МОН РК), Мукамбаев А.С. (от РГП ИГИ КАЭ МЭ РК) (сост.)**. Каталог землетрясений Казахстана за 2010 г. ($N=669$) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – (На CD).
31. **Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.** Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 г. с $K_p=13.1$, $M_w=5.2$, $I_0=6$ (Казахстан) // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 359–369.
32. **Соколов А.Н., Михайлова Н.Н.** Регистрация и база данных сильных движений на казахстанских станциях ядерного мониторинга // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 1. – С. 125–131.
33. **USGS Search Earthquake Catalog**. – URL: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
34. **The Modified Mercalli Intensity Scale**. USGS National Earthquake Information Centre. – URL: <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>.
35. **Шебалин Н.В.** Опорные землетрясения и уравнения макросейсмического поля // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 20–30.
36. **Курскеев А.А., Тимуш А.В., Сыдыков А., Шацлов В.И.** Карта общего сейсмического районирования Республики Казахстан и прилегающих районов Кыргызстана и Китая // Сейсмическое районирование Республики Казахстан. – Алматы: Эверо, 2000. – 195 с.
37. **Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н.** Сейсмичность Западного Казахстана по данным сети НЯЦ РК // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана. – Баку: РЦСС НАНА, 2012. – С. 336–348.
38. **European-Mediterranean Seismological Centre**. – URL: <http://www.emsc-csem.org>.