

**СЕЙСМИЧНОСТЬ КАЗАХСТАНА и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2016–2017 гг.****Н.Н. Михайлова<sup>1</sup>, И.Н. Соколова<sup>1</sup>, Б.Б. Бектурганова<sup>2</sup>, Н.Н. Полешко<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Филиал «Институт геофизических исследований» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр» Республики Казахстан, г. Курчатов, [mikhailova@kndc.kz](mailto:mikhailova@kndc.kz), [sokolova@kndc.kz](mailto:sokolova@kndc.kz)<sup>2</sup>Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, г. Алматы, [bauan\\_0106@mail.ru](mailto:bauan_0106@mail.ru)<sup>3</sup>Институт сейсмологии Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, г. Алматы

**Аннотация.** В 2016–2017 гг. сейсмический мониторинг в Казахстане проводили две организации: Государственное учреждение «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан и Республиканское Государственное предприятие «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан. В статье представлены подробные сведения о сетях сейсмических наблюдений, составлен сводный каталог землетрясений Казахстана по данным двух организаций, в который включено 1240 землетрясений с энергетическими классами  $K_p=6.6–15$ . Самое сильное землетрясение на рассматриваемой территории произошло 8 августа 2017 г.,  $trv=7.0$ ,  $M_w=6.3$ . Его эпицентр находился на территории провинции Синьцзян (КНР) вблизи казахстанско-китайской границы. Землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах Казахстана. Другим сильным землетрясением за рассматриваемый период было событие 4 апреля 2017 г. в Восточном Казахстане вблизи оз. Зайсан с  $trv=5.8$ ,  $K_p=13.3$ ,  $M_w=5.3$ . Его максимальная интенсивность 5–6 баллов отмечена в г. Зайсане. В целом, период 2016–2017 гг. характеризовался умеренной сейсмической активностью для большей части территории страны.

**Ключевые слова:** каталог, землетрясение, сейсмическая активность, Восточный Казахстан, асейсмичный район, природно-техногенное землетрясение, максимальное ускорение и колебательная скорость грунта.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.10 EDN: SPLMWU

**Для цитирования:** Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Бектурганова Б.Б., Полешко Н.Н. Сейсмичность Казахстана и прилегающих территорий в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 118–128. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.10. EDN: SPLMWU

**Введение.** В период 2016–2017 гг. на территории Казахстана сейсмические наблюдения проводились двумя организациями: Государственным учреждением «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (далее СОМЭ) и Республиканским государственным предприятием «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан (далее ИГИ). В статье приводится характеристика сейсмичности как территории «Казахстан» (рис. 1), так и, более подробно, района Северного Тянь-Шаня, ограниченного координатами 41.67°–45.00°N и 75.00°–80.00°E.

**Действующие сети станций.** В составе сети СОМЭ в течение 2016–2017 гг. работали 36 трехкомпонентных цифровых сейсмических станций (рис. 1, Прил. 1) [1]. В состав сети ИГИ входили пять сейсмических групп: Акбулак (АВКАР), Боровое (ВВАР), Каратау (ККАР), Курчатов-Крест (КУР), Маканчи (МКАР) и семь трехкомпонентных станций: «Актюбинск» (АКТО), «Боровое» (БРВК), «Курчатов» (КУРК), «Подгорное» (ПДГК), «Маканчи» (МАКЗ), «Ортау» (ОРТУК) и «КНЦД» (КНДК) (рис. 1, Прил. 2) [2]. Каждая организация имеет свои центры обработки данных, расположенные в г. Алматы. В ИГИ это КНЦД, выполняющий функции Казахстанского национального Центра данных в составе Международной системы мониторинга Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [3].

СОМЭ для улучшения локализации гипоцентров землетрясений дополнительно к материалам своих станций привлекала данные (бюллетени) станций «Ала-Арча», «Ананьево», «Арал», «Аркит», «Арслан-Боб», «Боом», «Баткен», «Дараут-Курган», «Бишкек», «Каджи-Сай», «Манас», «Пржевальск», «Ош» сети KNET ИС НАН КР [4]. КНЦД привлекал данные сейсмических групп «Залесово» и «Алибек» сети Международной системы мониторинга [3], а также трехкомпонентных сейсмических станций «Чумыш», «Алмалы-Ашуу», «Токмак2» [5] сети KNET Научной станции РАН на территории Кыргызстана, поступавших в КНЦД в режиме реального времени.

Уровень представительной регистрации землетрясений на Северном Тянь-Шане с 2011 г. остается неизменным и характеризуется минимальным энергетическим классом  $K_{\min}=7.5$ , только в центральной части хребтов Зайский и Кунгей Алатау обеспечен более низкий порог представительной регистрации ( $K_{\min}=6.0$ ) [6]. Для всей территории Казахстана обеспечена представительная регистрация землетрясений с  $K_{\min}=8.6$ .

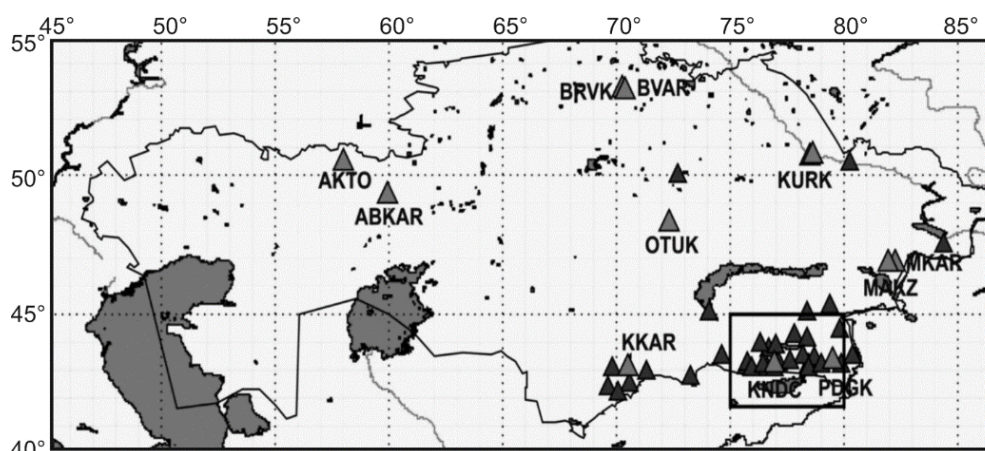


Рис. 1. Схема размещения сейсмических станций ИГИ (серые треугольники) и СОМЭ (черные треугольники) на территории Казахстана; прямоугольником выделен район «Северный Тянь-Шань», расположенный в юго-восточной части Казахстана

Методика определения основных параметров землетрясений остается постоянной в течение многих лет [7].

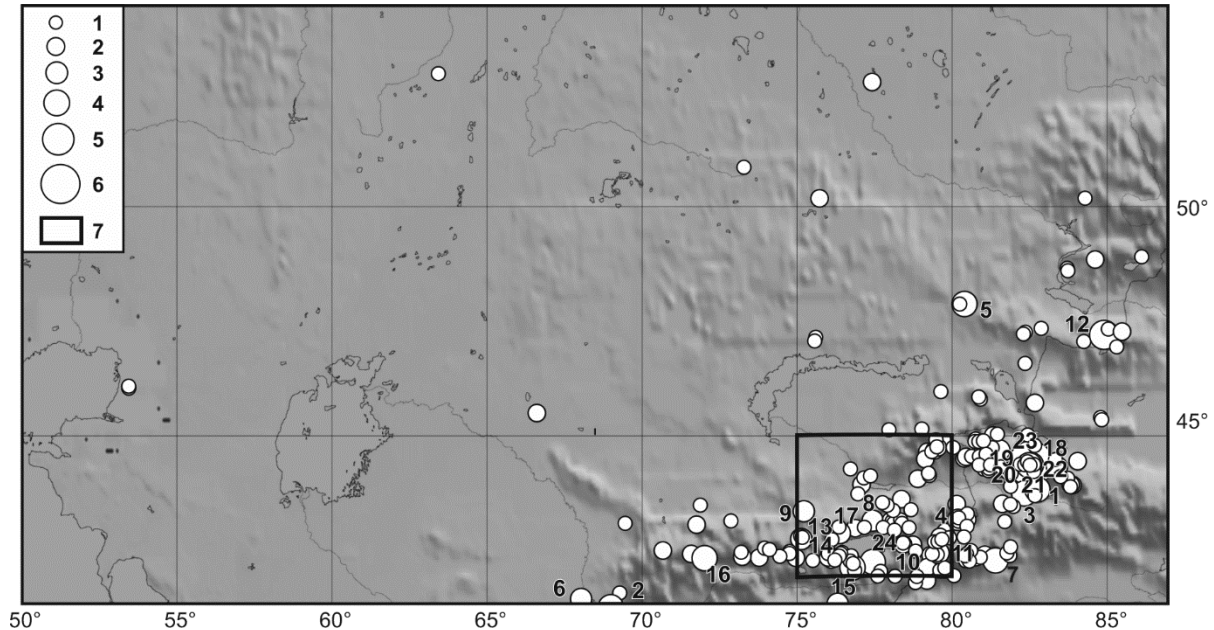
В СОМЭ для обработки сейсмических цифровых данных используется разработанная А. Жунусовой система сейсмического анализа «Эпицентр», которая основывается на программе Wgsnplot, где определение основных параметров гипоцентров землетрясений осуществляется пакетом «DIMAS» [8]. Для обработки данных используется региональный годограф Северного Тянь-Шаня [9], в основу которого заложена скоростная модель среды с дискретностью по глубине 5 км. Информация об обработанных событиях помещается на web-сайт СОМЭ [1].

В КНЦД для обработки сейсмических цифровых данных используется разработанная З.И. Синевой совместная система обработки данных сейсмических групп и трехкомпонентных станций, которая основывается на программном пакете SEATOOLS, предоставленном казахстанскому центру американским национальным центром данных, а также используется программный пакет DATASCOPE и разработанные в КНЦД утилиты [10]. Для обработки данных используется глобальный годограф IASPEI-91 [11], а также региональный годограф для Центрального Казахстана, построенный по данным калибровочных химических взрывов, подземных ядерных взрывов, произведенных на территории Семипалатинского испытательного полигона [12]. Для обработки данных сильных движений используется программа ViewWave, разработанная Т. Кашимой [13].

Автоматический и интерактивный бюллетени оперативно выставляются на web-сайт КНЦД ([www.kndc.kz](http://www.kndc.kz)) [14]. В обеих организациях энергетические характеристики ( $K_p$ ,  $m_{pva}$ ,  $MLV=Ms$ ) рассчитывались по программам, использующим соответствующие калибровочные функции [15–17].

**Каталог землетрясений и карта эпицентров.** Каталог землетрясений за 2016–2017 гг., публикуемый в настоящем ежегоднике (Прил. 3), включает 1240 землетрясений в диапазоне энергетических классов  $K_p=6.6–16.7$ . Большая часть землетрясений произошла в районе Северного Тянь-Шаня, Джунгарии, относительно небольшое количество землетрясений было зарегистрировано на территории восточного Казахстана, а также в районах интенсивного антропогенного воздействия на среду – в районе г. Рудного, вблизи г. Экибастуза, Тенгизского нефтяного месторождения. Файл электронного приложения содержит, помимо указанного каталога, несколько дополнительных приложений: каталог афтершоков Зайсанского землетрясения 4 апреля 2017 г. (включает 66 афтершоков) (Прил. 4); каталог параметров механизмов очагов, включающий механизмы очагов 41 землетрясения по региональным данным (Прил. 5); дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2016–2017 гг. по данным международных центров (Прил. 6); сведения об интенсивности сотрясений от 23 ощутимых землетрясений в 31 населенном пункте (Прил. 7, 8); а также информацию о двух сетях сейсмических станций (Прил. 1, 2).

На рис. 2 представлена карта эпицентров землетрясений с  $K_p \geq 8.6$  на всей территории Казахстана и приграничных районов. В основном землетрясения приурочены к горной части юго-востока и востока Казахстана, а также прилегающих территорий Кыргызстана и Китая.



**Рис. 2.** Карта эпицентров землетрясений Казахстана с  $K_p \geq 8.6$ . Пронумерованы сильные ( $K_p \geq 10.6$ ) землетрясения в соответствии с графой 2 каталога землетрясений Казахстана (Прил. 3)

1–5 –  $K_p=9$ –13 соответственно; 6 –  $K_p=15$ ; 7 – граница района «Северный Тянь-Шань».

**Сейсмичность Казахстана.** На западе, севере, а также в центральной части Казахстана было зарегистрировано несколько землетрясений с  $K_p \geq 8.6$ .

2 апреля 2016 г. в 19<sup>h</sup>51<sup>m</sup> по Гринвичу в районе г. Рудного произошло землетрясение с координатами  $\varphi=52.61^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=63.47^\circ\text{E}$ ,  $m_p v=3.0$ ,  $K_p=8.5$ . В г. Рудном интенсивность сотрясений составила  $I=3$  балла [18]. У землетрясения был один афтершок в 19<sup>h</sup>55<sup>m</sup> с  $m_p v < 2$ . 12 января 2017 г. в 17<sup>h</sup>13<sup>m</sup> произошло еще одно ощутимое землетрясение с координатами  $\varphi=52.68^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=63.42^\circ\text{E}$  и  $m_p v=3.4$ ,  $K_p=9$  ( $I=2$  балла в г. Рудном). Интересно, что в этом же районе в апреле 2004 г. реализовалась серия землетрясений [18]. Во всех случаях землетрясения произошли в ночное время, имели глубину менее 10 км, у некоторых имелись афтершоки. Следует отметить, что район г. Рудного является асейсмичным, однако вблизи него расположены крупные карьеры (Соколовский, Сарбайский и Качарский), где производятся взрывы с максимальной мощностью, достигающей 500–600 т при средней мощности 200 т [18]. На рис. 3 приведена карта эпицентров землетрясений, разломов и карьеров вблизи г. Рудного. Сеть станций ИГИ регистрирует большое количество взрывов из этого района с энергетическими классами  $K_p=4.2 \div 8$ . Суммарная сейсмическая энергия карьерных взрывов в радиусе 50 км от эпицентров землетрясений достаточно высока и достигает 3 ГДж (2010, 2012 гг.) [18]. Вполне вероятно, что регулярное интенсивное техногенное воздействие могло вызвать подъем флюидов и спровоцировать или ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений [18].

За период 2016–2017 гг. сейсмической сетью ИГИ НЯЦ РК были зарегистрированы два землетрясения с  $K_p \geq 8.5$  с эпицентрами вблизи нефтегазового месторождения Тенгиз: 20 октября 2016 г. в 11<sup>h</sup>19<sup>m</sup> с координатами  $\varphi=46.09^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=53.45^\circ\text{E}$ ,  $m_p v=3.2$ ,  $K_p=8.9$  и 24 декабря 2017 г. в 05<sup>h</sup>33<sup>m</sup> с координатами  $\varphi=46.11^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=53.45^\circ\text{E}$ ,  $m_p v=3.3$ ,  $K_p=9.0$ . Район месторождения Тенгиз относится к асейсмичным районам Казахстана, тем не менее, с 1997 г. международные сейсмологические центры начинают включать в сейсмологические бюллетени сейсмические события из этого района. Ближайшие к месторождению станции ИГИ, трехкомпонентная сейсмическая станция AS059-Актюбинск (АКТО) и сейсмическая группа Акбулак (АВКАР), расположенные на расстояниях ~570 км и ~600 км соответственно, регистрируют из этого района события с  $m_b \geq 2.1$  [18].

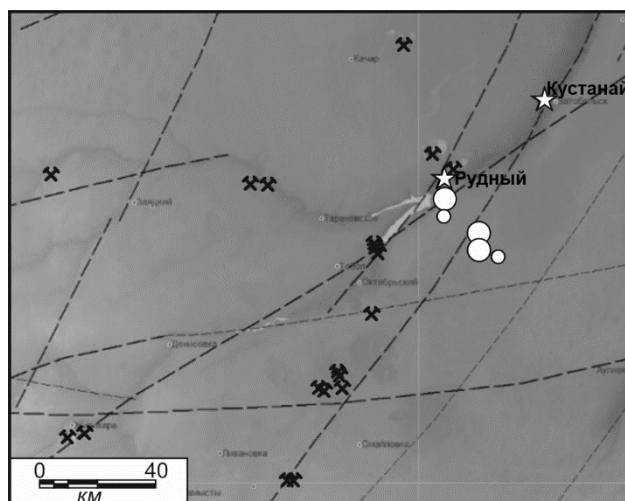


Рис. 3. Эпицентры землетрясений (кружки), разломы (пунктирные линии) и карьеры (крестики) вблизи г. Рудного [18]

В 2016–2017 гг. произошла активизация сейсмичности в Восточном Казахстане. 15 марта 2016 г. в 21<sup>h</sup>32<sup>m</sup> вблизи Семипалатинского испытательного полигона (СИП) произошло землетрясение с  $K_p=11.8$ ,  $m_p v=5.0$  (координаты эпицентра  $\varphi=47.93^\circ N$ ,  $\lambda=80.40^\circ E$  по данным КНЦД). Землетрясение ощущалось в п. Маканчи с интенсивностью 3–4 балла [19]. На рис. 4 представлены сейсмограммы этого землетрясения по станциям ИГИ, диапазон эпицентральных расстояний от 172 км (МАКЗ) до 1652 км (АКТО). У землетрясения были обнаружены афтершоки, произошедшие в тот же день, 15 марта: в 22<sup>h</sup>02<sup>m</sup> с  $m_p v=2.3$ ,  $K_p=5.9$ ; в 22<sup>h</sup>38<sup>m</sup> с  $m_p v=3.4$ ,  $K_p=8.2$ ; в 23<sup>h</sup>16<sup>m</sup> с  $m_p v=1.8$ ,  $K_p=5.1$ . Максимальное ускорение было зарегистрировано на станции МАКЗ на расстоянии 133 км, канал С–Ю,  $A_{max}=1.7 \text{ см/с}^2$  [20]. Также вблизи СИП 5 июля 2016 г. в 01<sup>h</sup>47<sup>m</sup> реализовалось землетрясение с координатами  $\varphi=49.39^\circ N$ ,  $\lambda=77.98^\circ E$ ,  $h=4 \text{ км}$ ,  $m_p v=3.4$ ,  $K_p=8.5$ . В асейсмичном районе, вблизи г. Павлодара, 24 июля 2017 г. в 11<sup>h</sup>07<sup>m</sup> произошло землетрясение с координатами  $\varphi=52.51^\circ N$ ,  $\lambda=77.42^\circ E$ ,  $h=28 \text{ км}$ ,  $m_p v=3.6$ ,  $K_p=9.7$ .

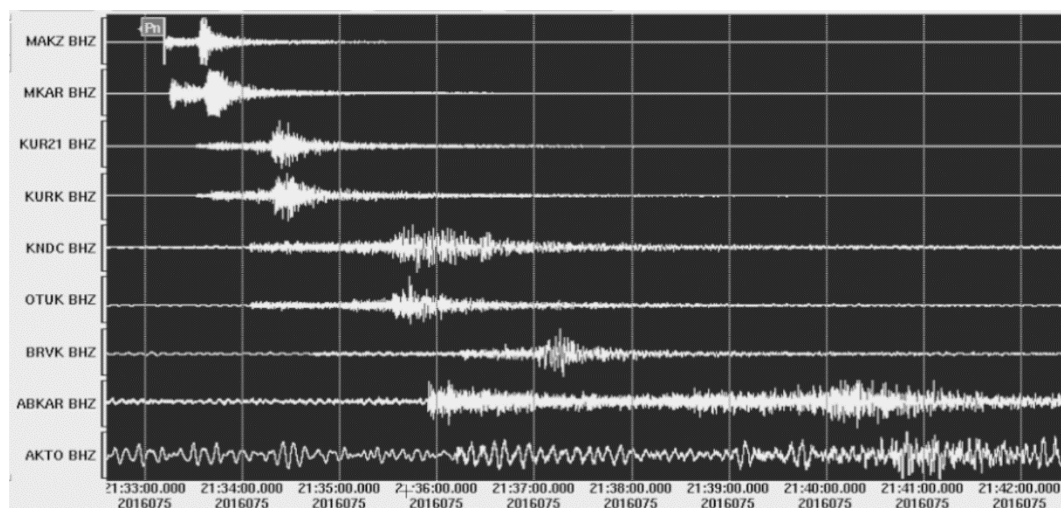


Рис. 4. Сейсмограммы землетрясения 15 марта 2016 г. вблизи СИП по данным станций ИГИ

Самым ярким событием в Казахстане в 2017 г. стало землетрясение 4 апреля 2017 г. в 15<sup>h</sup>07<sup>m</sup> с эпицентром вблизи оз. Зайсан на территории Восточного Казахстана. Энергетический класс землетрясения –  $K_p=13.3$ , моментная магнитуда –  $M_w=5.3$ , координаты эпицентра –  $47.26^\circ N$  и  $84.90^\circ E$ , глубина –  $h=9 \text{ км}$ . Землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах Восточного Казахстана: г. Зайсане 5–6 баллов, пос. Уржар, пос. Курчум 4 балла, г. Усть-Каменогорске 3–4 балла (см. Прил. 7).

На рис. 5 представлены сейсмограммы землетрясения по станциям ИГИ, диапазон эпицентральных расстояний от 222 км (МАКЗ) до 2002 км (АКТО). Интересным является факт регистрации землетрясения инфразвуковыми группами KURIS и MKIAR, входящими в сеть ИГИ [2]. По временам вступлений и особенностям волновой картины записи микробарографов очень похожи на сейсмограммы сейсмических станций, находящихся поблизости от инфразвуковых групп. Факт регистрации землетрясений инфразвуковыми станциями достаточно частое явление, например, в работе [21] описывается результат регистрации инфразвуковыми группами IS31 (Актюбинск) и Курчатова Алтайского землетрясения 27.09.2003. Значения кажущейся скорости, полученные на сейсмических и инфразвуковых станциях, оказались близкими для соответствующих цугов сейсмических волн [21]. На записях могут быть выделены и идентифицированы по скоростям цуги продольных и поперечных волн. В работе [21] приводится механизм генерации этих волн: «вертикальное смещение сейсмических волн генерирует на месте обменные волны «поверхность – атмосфера» (ground-coupled air waves)».

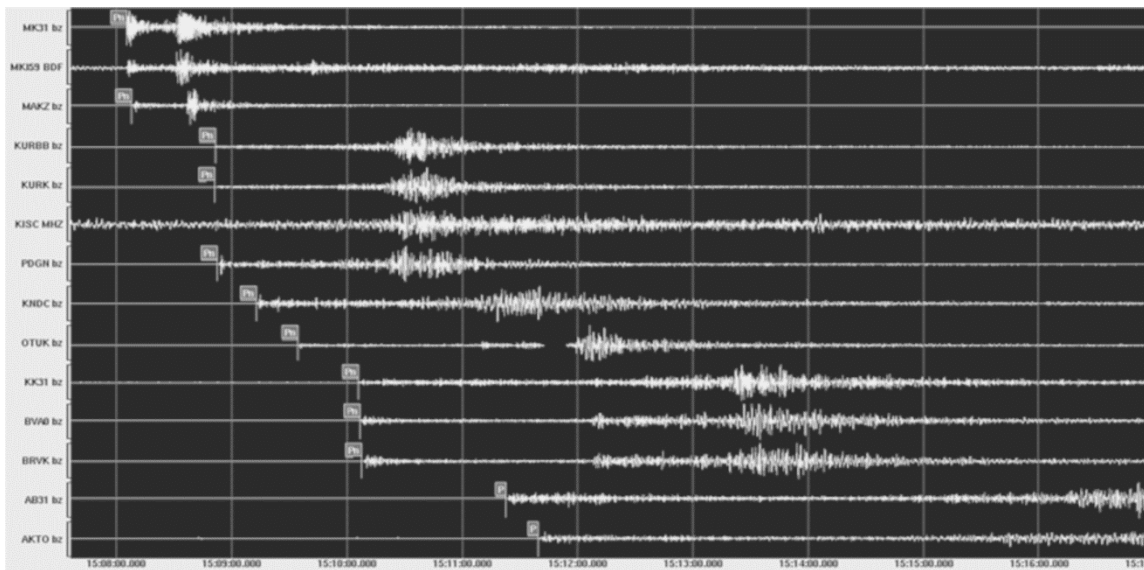


Рис. 5. Сейсмограммы землетрясения 4 апреля 2017 г. вблизи оз. Зайсан по данным станций ИГИ

Решение механизма очага землетрясения 4 апреля 2017 г. получено совместно центрами обработки СОМЭ и ИГИ с использованием 36 знаков первых вступлений *P*- и *S*- волн (Прил. 5). Согласованность знаков составила 100 %. Механизм очага характеризуется горизонтальным сдвигом с небольшой сбросовой компонентой по крутым нодальным плоскостям (рис. 6 а), ориентированным субширотно, с падением на юг, или субмеридионально, с падением на восток. Решение GСMT (Прил. 6, рис. 6 б) несколько отличается ориентацией плоскостей – по вертикальной плоскости запад–северо-западного простирания произошел чистый сдвиг, по север–северо-восточной плоскости – сдвиг с незначительной взбросовой компонентой. Разброс для ряда параметров по двум методам составляет до 30–40°.

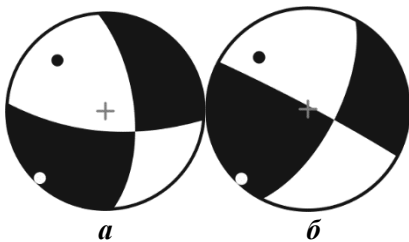


Рис. 6. Диаграмма механизма очага землетрясения 4 апреля 2017 г.: а – по региональному решению (Прил. 5); б – по решению GСMT (Прил. 6)

После землетрясения 4 апреля 2017 г. наблюдался явный дефицит афтершоковой активности для такого уровня выделившейся энергии (Прил. 4, рис. 7). Особенностью вышеупомянутого события можно назвать отсутствие значимых по энергетическому классу афтершоков (рис. 7). Энергетическая ступень между главным толчком и максимальным афтершоком составила  $\Delta K_p = 13.3 - 7.8 = 5.5$ . В течение апреля и мая произошло 54 слабых землетрясения ( $K_p \leq 7.6$ ), зарегистрированных станцией Зайсан, из них 21 толчок зафиксирован 4 апреля. Всего каталог афтершоков (Прил. 4) содержит 66 событий, произошедших после главного толчка до конца года.

Анализ записей сильных движений показал, что станцией сильных движений МАКЗ на расстоянии 228 км было зарегистрировано ускорение для канала С–Ю  $A_{\max}=1.8 \text{ см/с}^2$  [20]. Всего обработаны три записи сильных движений по станциям МАКЗ, КУРК, РДГН (табл. 1). На рис. 8 представлены спектры реакции по станции МАКЗ.

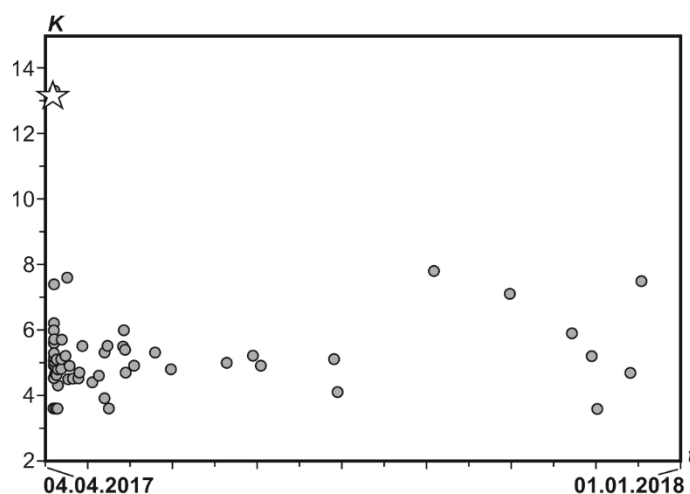


Рис. 7. Значения энергетического класса  $K_p$  афтершоков Зайсанского землетрясения 4 апреля 2017 г. Звездочка – основной толчок

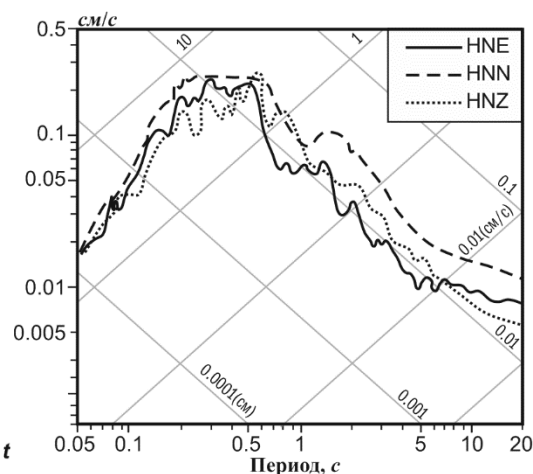


Рис. 8. Спектры реакции землетрясения 4 апреля 2017 г. по данным станции «МАКЗ»

Таблица 1. Параметры сейсмических воздействий землетрясения 4 апреля 2017 г. с  $K_p=13.3$ ,  $M_w=5.3$

Станция	$\Delta$ , км	$I_0$ , балл	$A$ , $\text{см/с}^2$			$V$ , $\text{см/с}$			$T(A)$ , с	$T(V)$ , с
			Е–W	Н–S	Z	Е–W	Н–S	Z		
МАКЗ	228	–	1.6	1.8	1.4	0.07	0.08	0.06	0.2	0.20
КУРК	599	–	0.2	0.1	0.1	0.02	0.01	0.01	0.6	0.20
РДГН	609	–	0.1	0.1	0.05	0.01	0.01	0.01	75	0.40

Эпицентр землетрясения, произошедшего 4 апреля 2017 г., расположен в Чингиз-Тарбогатайском сейсмогенерирующем регионе Казахстана. Интересно, что он находится в непосредственной близости от ранее произошедшего здесь Зайсанского землетрясения 14.06.1990 г. с  $M_w=6.6$  [22]. Зайсанское землетрясение 1990 г. было детально исследовано, включая полевые макросейсмические обследования, как со стороны Казахстана, так и со стороны Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР [22]. С наибольшей интенсивностью землетрясение проявилось в населенных пунктах Рожково и Бакасу, находящихся соответственно в 22 км и 37 км южнее эпицентра, где сила сотрясений достигала 8 баллов [22]. Во многих саманных и каменных зданиях наблюдались повреждения в виде сквозных трещин и проломов в стенах, обрушения отдельных частей зданий, полное обрушение внутренних стен, кирпичных печей. Отдельные строения указанного типа были полностью обрушены [22].

Сильное землетрясение с  $K_p=11.3$ ,  $mpv=5.1$  ( $M_s=3.4$ ) произошло в восточных отрогах Северного Тянь-Шаня на пограничной территории Казахстана и Китая 29 февраля 2016 года. Эпицентр находился в очаговой зоне крупного сейсмического события 01.12.2003 г. с  $K_p=14.3$  ( $M_s=5.6$ ), которое ощущалось в г. Алматы с интенсивностью 4 балла по шкале MSK-64. После главного толчка 29 февраля 2016 г. последовали афтершоки, которые продолжались по июнь месяц, количество их достигло 19, причем семь афтершоков зарегистрированы в первые сутки после основного события. Большинство афтершоков характеризуются слабой энергией ( $K_p=5-7$ ), за исключением одного – с  $K_p=8.6$ .

Самым сильным землетрясением на исследуемой территории за период 2016–2017 гг. является землетрясение 8 августа 2017 г. с эпицентром вблизи казахстанско-китайской границы на территории провинции Синьцзян (КНР),  $mpv=7.0$  ( $M_s=6.4$ ,  $M_w=6.3$ ), координаты эпицентра –  $44.34^\circ\text{N}$  и  $82.54^\circ\text{E}$ ,  $h=26$  км. Землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах Казахстана – в г. Жаркенте, п. Достык 4–5 балла, г. Алматы, г. Талдыкоргане – 4 балла, г. Усть-Каме-ногорске – 2 балла (Прил. 7).

На рис. 9 представлены сейсмические и инфразвуковые записи землетрясения по станциям ИГИ, диапазон эпицентральных расстояний от 284 км (МКЗ1) до 1832 км (АВ31). Так же, как и в случае регистрации землетрясения 4 апреля 2017 г., землетрясение 8 августа 2017 г. было записано инфразвуковыми группами KURIS, MKIAR, IS31, входящими в сеть ИГИ [2], а также инфразвуковой группой Залесово IS46, находящейся на территории РФ. Так же, как и в случае Зайсанского землетрясения 4 апреля 2017 г., по временам вступлений и особенностям волновой картины записи микробарографов похожи на сейсмограммы сейсмических станций, находящихся поблизости инфразвуковых групп.

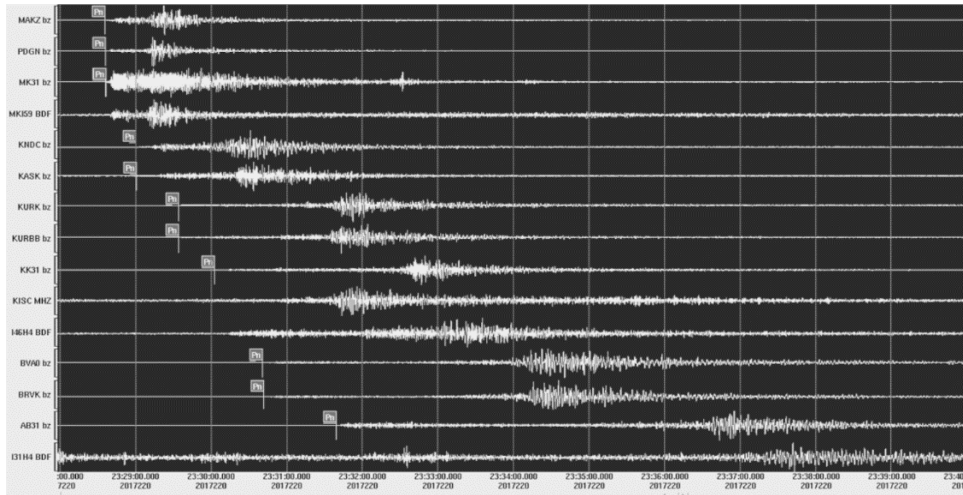


Рис. 9. Записи землетрясения 8 августа 2017 г. вблизи границы Казахстан–Китай по данным станций ИГИ

Анализ записей показал, что максимальное ускорение для землетрясения наблюдалось на расстоянии 270 км на канале В–З станции сильных движений PDGN –  $A_{max}=10.5 \text{ см/с}^2$  [20]. Всего обработаны записи сильных движений по 7 станциям PDGN, MAKZ, KNDC, KK31, AB31, KURK, BRVK (табл. 2, рис. 10).

Таблица 2. Параметры сейсмических воздействий землетрясения 8 августа 2017 г. в 23<sup>h</sup>27<sup>m</sup> с  $M_w=6.3$

Станция	$\Delta$ , км	$I_0$ , балл	$A$ , см/с <sup>2</sup>			$V$ , см/с			$T(A)$ , с	$T(V)$ , с
			Е–W	Н–S	Z	Е–W	Н–S	Z		
PDGN	270	–	10.5	5.9	2.4	1.11	0.67	0.21	0.5	0.30
MAKZ	278	–	1.8	1.4	1.7	0.17	0.13	0.18	1.8	1.20
KNDC	465	4	2.4	3.2	1.4	0.35	0.45	0.26	0.5	0.50
KK31	978	–	0.1	0.2	0.2	0.03	0.04	0.04	4.5	1.00
AB31	1801	–	0.05	0.1	0.05	0.02	0.03	0.02	3.2	1.20
KURK	768	–	0.4	0.3	0.4	0.08	0.06	0.05	1	0.50
BRVK	1322	–	0.1	0.1	0.1	0.03	0.05	0.03	4	2.50

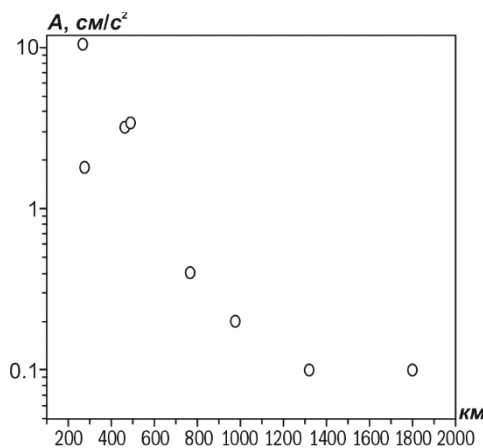
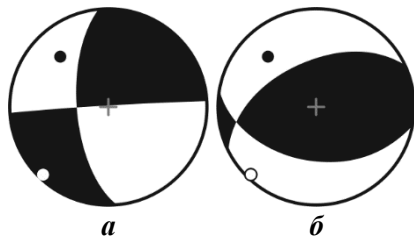


Рис. 10. Зависимость максимальных амплитуд ускорений от расстояния для землетрясения 8 августа 2017 г.

Решение механизма очага землетрясения 8 августа получено совместно центрами обработки СОМЭ и ИГИ с использованием 38 знаков первых вступлений P- и S-волн (Прил. 5). Согласованность знаков составила 100 %. Полученный механизм очага характеризуется горизонтальным сдвигом с небольшой сбросовой компонентой по меридиональной нодальной плоскости ( $STR=176^\circ$ ), падающей на запад под углом  $DIP=64^\circ$  (рис. 11 а), или сдвигом по широтной плоскости ( $STR=266^\circ$ ), круто падающей на север ( $DIP=89^\circ$ ). Оси напряжений сжатия и растяжения

близгоризонтальны, ориентация оси напряжения сжатия – северо-западная, оси напряжения растяжения – юго-западная.

Решение механизма очага этого же землетрясения, полученное методом тензора момента и представленное в глобальном каталоге GCMT (Прил. 6), характеризуется взбросом по субширотным нодальным плоскостям (рис. 11 б). Этот тип механизма существенно отличается от регионального решения, с которым совпадает лишь простирание субширотных плоскостей.



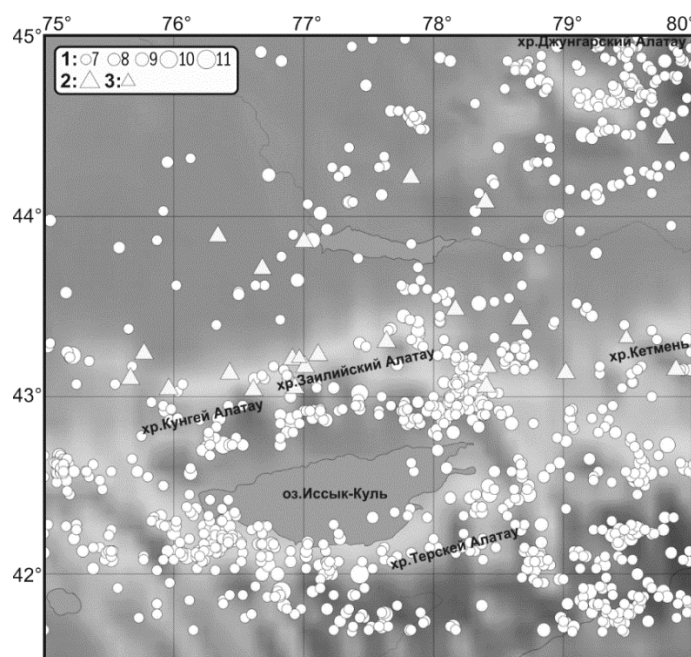
**Рис. 11.** Диаграмма механизма очага землетрясения 8 августа 2017 г.: а – по региональному решению (Прил. 5); б – по решению GCMT (Прил. 6)

**Сейсмичность Северного Тянь-Шаня.** Традиционно выделенная рамкой на рис. 1 и 2 территория Северного Тянь-Шаня рассматривается детально с уровня энергетических классов  $K_p \geq 6.6$ .

На территории Северного Тянь-Шаня ( $41.67^\circ\text{--}45.00^\circ\text{N}$  и  $75.00^\circ\text{--}80.00^\circ\text{E}$ ) зарегистрировано в 2016 г. – 357, а в 2017 г. – 326 землетрясений с  $K_p \geq 6.6$  (Прил. 3). В табл. 3 приведено распределение землетрясений по энергетическим классам. Карта эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня с  $K_p \geq 6.6$  за период 2016–2017 гг. представлена на рис. 12. Проведено сравнение параметров сейсмического режима с долговременными средними значениями для района Северного Тянь-Шаня [23]. Так, в работе А. Сыдыкова для исследуемого района приведены значения  $\gamma = -0.46$ ,  $A_{10} = 0.09$  [23]. На рис. 13 приведен график повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2016 и 2017 гг., согласно которому в 2016 г.  $\gamma = -0.52$ ,  $A_{10} = 0.036$ , а в 2017 г.  $\gamma = -0.47$ ,  $A_{10} = 0.054$ . Если сопоставить полученные значения с долговременными средними параметрами, можно заключить, что угол наклона графика повторяемости в 2016 г. был больше долговременного среднего значения, в 2017 г. – близок к нему, однако сейсмическая активность района в 2016–2017 гг. была значительно ниже долговременных средних значений.

**Таблица 3.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам и суммарная высвобожденная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  на Северном Тянь-Шане

Год	$K_p$	7	8	9	10	11	12	$\Sigma E, Дж$
2016	$N(K)$	357	95	28	10	3	–	$5.78 \cdot 10^{11}$
2017	$N(K)$	326	117	32	12	4	2	$4.49 \cdot 10^{12}$



**Рис. 12.** Карта эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня с  $K_p \geq 6.6$

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – сейсмические станции СОМЭ МОН РК, 3 – сейсмические станции ИГИ.



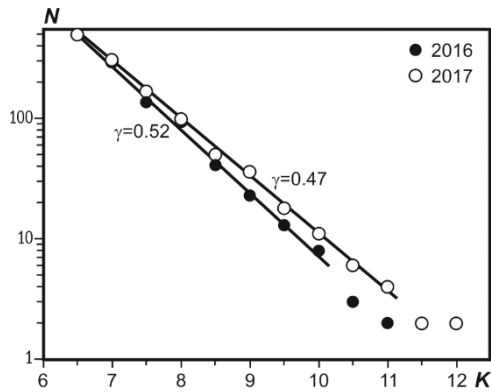


Рис. 13. Графики повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2016 и 2017 гг.

В пределах рамки «Северный Тянь-Шань» самое сильное землетрясение зарегистрировано 28 апреля 2017 г. в 05<sup>h</sup>01<sup>m</sup> с  $\varphi=41.90^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=76.83^\circ\text{E}$ ,  $K_p=12.3$  (Прил. 3) на южном берегу оз. Иссык-Куль вблизи пос. Каджисай. Землетрясение ощущалось в г. Алматы на расстоянии 144 км от эпицентра, интенсивность сотрясений составила 4 балла. Акселерометр станции KNDC зарегистрировал пиковое ускорение  $A_{\max}=2.8 \text{ см/с}^2$  на канале В–3.

Другое сильное землетрясение с  $K_p=12.3$ ,  $M_s=4.2$ ,  $\varphi=42.00^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=77.43^\circ\text{E}$ ,  $h=10 \text{ км}$  [17] произошло 16 ноября в 01<sup>h</sup>42<sup>m</sup> и ощущалось в г. Алматы и пос. Саты с интенсивностью  $I=2-3$  балла. Очаг землетрясения находился на южном берегу оз. Иссык-Куль вблизи пос. Каджисай. Акселерометр станции KNDC (145 км)

зарегистрировал пиковое ускорение  $A_{\max}=1.3 \text{ см/с}^2$  на каналах С–Ю и В–3.

**Закключение.** 2016–2017 гг. проявились сильными землетрясениями на востоке Казахстана и вблизи границы с Китаем, где произошли события с  $M_w=5.3$  и  $M_w=6.3$  соответственно. Отдельные интересные землетрясения зарегистрированы в традиционно считающихся асейсмичными районах – вблизи Семипалатинского испытательного полигона, в местах добычи твердых и жидких полезных ископаемых. В обычно самой активной части территории – Северном Тянь-Шане – отмечалась низкая сейсмическая активность по сравнению с ее долговременным средним значением.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Бектурганова Б.Б., Михайлова Н.Н., Неверова Н.П., Соколова И.Н., Алымбаева В.К., Досайбекова Н., Бондарь О., Максумова А.М., Мукамбаев А.С., Досайбекова С.К., Полешко Н.Н., Пойгина С.Г., Бахтиярова Г.М., Лукаш Н.А.

**Электронное приложение** App07\_Kazakhstan\_2016–2017 (<http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>): 1 – Сейсмические станции Сейсмологической опытно-методической экспедиции Министерства образования и науки Республики Казахстан в 2016–2017 гг.; 2 – Сейсмические группы и станции Республиканского государственного предприятия «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан в 2016–2017 гг.; 3 – Каталог землетрясений Казахстана за 2016–2017 гг.; 4 – Афтершоки Зайсанского землетрясения 4 апреля 2017 г. с  $K_p=13.3$ ,  $mb=6.0$ ; 5 – Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2016–2017 гг.; 6 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2016–2017 гг. по данным международных центров; 7 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Казахстана в населенных пунктах в 2016–2017 гг.; 8 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Казахстана за 2016–2017 гг.

## Л и т е р а т у р а

1. ТОО «СОМЭ». (2022). [Site]. – URL: <http://some.kz>
2. Mikhailova N.N., Sokolova I.N. Monitoring System of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre. – 2019. – V. 53, N 1. – P. 27–38. doi: 10.31905/RK46YGLU
3. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Приложение 1. – Вена, 2009. – 153 с.
4. Берёзина А.В. (отв. сост.). Сейсмические станции Кыргызстана в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
5. Vernon F. Kyrgyzstan seismic telemetry network // IRIS Newslett. – 1992. – V. 11, N 1. – P. 7–9.
6. Неверова Н.П., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Казахстан // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 119–131.
7. 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.
8. Drozdnin D., Drozdnina S. Interactive DIMAS program for processing seismic signals // Seismic Instruments. – 2011. – N 47. – P. 215–224. doi: 10.3103/S0747923911030054
9. 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.

10. Михайлова Н.Н., Синева З.И. Обработка данных сейсмических станций НЯЦ РК // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2 (10). – С. 64–68.
11. Borman P. New Manual of Seismological Observatory Practice). – Potsdam: GeoForschungsZentrum, 2002. –V. 1. – P. 16–50.
12. Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Германова Т.И. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Т. 2, № 10. – С. 46–54.
13. Kashima T. ViewWave Help. – 2002. – PSEE, BRL.
14. Казахстанский национальный центр данных. (2022). [Site]. – URL: <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
15. 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.
16. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция  $\sigma(\Delta)$  для определения *MPVA* землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 41–48.
17. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
18. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана. // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – № 2. – С. 47–57.
19. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Полешко Н.Н. Историческая и современная сейсмичность территории Семипалатинского испытательного полигона // Геофизические процессы и биосфера. – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 117–134. doi: 10.21455/gpb2020.2-9
20. Соколов А.Н., Михайлова Н.Н. Регистрация и база данных сильных движений на казахстанских станциях ядерного мониторинга // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – № 1. – С. 125–131.
21. Смирнов А.А. Анализ записей Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г., полученных сейсмическими и инфразвуковыми станциями НЯЦ РК // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – № 2. – С. 53–61.
22. Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Тимуш А.В., Хайдаров М.С., Власова А.А., Михайлова Н.Н., Сабитов М.М., Умирзакова А., Гапич В.А. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ГС РАН, 1996. – С. 54–60.
23. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. – Алматы: «Гылым», 2004. – 270 с.

## SEISMICITY of KAZAKHSTAN and ADJACENT TERRITORIES in 2016–2017

N.N. Mikhailova<sup>1</sup>, I.N. Sokolova<sup>1</sup>, B.B. Bekturganova<sup>2</sup>, N.N. Poleshko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Branch Institute of Geophysical Research of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, [mikhailova@kndc.kz](mailto:mikhailova@kndc.kz), [sokolova@kndc.kz](mailto:sokolova@kndc.kz)

<sup>2</sup>Seismological Experience-Methodical Expedition of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Almaty, [bayan\\_0106@mail.ru](mailto:bayan_0106@mail.ru)

<sup>3</sup>Institute of Seismology of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Almaty

**Abstract.** In 2016–2017, the seismic monitoring in Kazakhstan was conducted by two Organizations: Seismological Experience-Methodical Expedition of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan and the Republican State Enterprise «Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan». The paper presents detailed information on seismic observation networks. The joint catalogue based on the data of two organizations was compiled. It includes 1240 earthquakes having energy classes  $K_R=6.6–15$ . The strongest earthquake within the considered territory occurred on August 8, 2017 with  $mpv=7.0$ ,  $M_w=6.3$ ,  $K_R=15$ . Its epicenter was located on the territory of Xinjiang (China), near the Kazakhstan-Chinese border. The earthquake was felt in numerous settlements in Kazakhstan. Another strong earthquake occurred on April 4, 2017 with  $mpv=5.8$ ,  $K_R=13.3$ ,  $M_w=5.3$  in the Eastern Kazakhstan, near Zaysan Lake. Its maximum intensity 5–6 was recorded in Zaysan town. In whole, the period 2016–2017 was characterized by moderate seismicity for the major part of the country's territory.

**Key words:** catalogue, earthquake, seismic activity, East Kazakhstan, aseismic region, natural-induced earthquake, peak acceleration and oscillating ground velocity.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2022.25.10 **EDN:** SPLMWU

**For citation:** Mikhailova, N.N., Sokolova, I.N., Bekturganova, B.B., & Poleshko, N.N. (2022). [Seismicity of Kazakhstan and adjacent territories in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 118–128. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.10. EDN: SPLMWU

## References

1. Seismological Experience-Methodical Expedition. (2022). Retrieved from <http://some.kz>
2. Mikhailova, N.N., & Sokolova, I.N. (2019). Monitoring System of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. *Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre*, 53(1), 27–38. doi: 10.31905/RK46YGLU
3. Comprehensive Test-Ban Treaty. (2009). Appendix 1. Vienna, Austria, 153 p.
4. Berezina, A.V. (2022). [Seismic stations of Kyrgyzstan in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
5. Vernon, F. (1992). Kyrgyzstan seismic telemetry network. *IRIS Newslett*, 11(1), 7–9.
6. Neverova, N.P., Mikhailova, N.N., & Sokolova, I.N. (2017). [Kazakhstan]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2011 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2011] (pp. 119–131). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
7. Beisenbaev, R.T., Li, A.N., Kalmykova, N.A., Neverova, N.P., Mikhailova, N.N., & Sokolova, I.N. (2010). [Kazakhstan]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 130–141). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. Droznin, D., & Droznina, S. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47, 215–224. doi: 10.3103/S0747923911030054
9. Razakov, E.R. (1986). [To the issue of modernization of algorithm on determining parameters of earthquakes hypocenters]. In *Kompleksnye issledovaniia na Alma-Atinskom prognosticheskom poligone* [Integrated investigations at Alma-Ata prediction site] (pp. 108–112). Alma-Ata, Kazakhstan: Nauka Publ. (In Russ.).
10. Mikhailova, N.N., & Sineva, Z.I. (2002). [Processing of the NNC RK seismic stations data]. *Vestnik NIaTs RK* [Bulletin of NNC RK], 2(10), 64–68. (In Russ.).
11. Bormann, P. (2002). New manual of seismological observatory practice. *Potsdam, Germany: GeoForschungsZentrum*, 1, 16–50.
12. Mikhailova, N.N., Aristova, I.L., & Germanova, T.I. (2002). [Seismic waves travel-time curve by the results of chemical explosions signals]. *Geofizika i problemy nerasprostraneniia: Vestnik NIaTs RK*. [Geophysics and non-proliferation problems: Bulletin of NNC RK], 2(10), 46–54. (In Russ.).
13. Kashima, T. (2002). ViewWave Help. *IISEE, BRI*.
14. Kazakhstan National Data Centre. (2022). Retrieved from <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
15. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspiermental'naia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
16. Mikhailova, N.N., & Neverova, N.P. (1986). [Calibration function  $\sigma(\Delta)$  for MPVA calculation of Northern Tien Shan earthquakes]. In *Kompleksnye issledovaniia na Alma-Atinskom prognosticheskom poligone* [Integrated investigations at Alma-Ata prediction site] (pp. 41–48). Alma-Ata, Kazakhstan: Nauka Publ. (In Russ.).
17. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudenii na seismicheskikh stantsiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudenii SSSR* [Instructions on the procedure for the production and processing of observations at seismic stations of the Unified Seismic Observation System of the USSR]. (1982). Moscow, Russia: Nauka Publ., 273 p. (In Russ.).
18. Sokolova, I.N., Mikhailova, N.N., Velikanov, A.E., & Poleshko, N.N. (2017). [Induced seismicity on Kazakhstan territory]. *Vestnik NIaTs RK* [Bulletin of NNC RK], 2, 47–57. (In Russ.).
19. Mikhailova, N.N., Sokolova, I.N., & Poleshko, N.N. (2020). [Historical and contemporary seismicity of the Semipalatinsk Test Site territory]. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*. [Geophysical processes and biosphere], 19(2), 117–134. (In Russ.). doi: 10.21455/gpb2020.2-9
20. Sokolov, A.N., & Mikhailova, N.N. (2014). [Recording and database of strong motions at Kazakhstan stations of nuclear monitoring]. *Vestnik NIaTs RK* [Bulletin of NNC RK], 1, 125–131. (In Russ.).
21. Smirnov, A.A. (2005). [Analysis of Altay earthquake records occurred on September 27, 2003 and recorded by seismic and infrasound stations of the NNC RK]. *Vestnik NIaTs RK* [Bulletin of NNC RK], 2, 53–61. (In Russ.).
22. Nurmagambetov, A., Sydykov, A., Timush, A.V., Khaidarov, M.S., Vlasova, A.A., Mikhailova, N.N., Sabitov, M.M., Umirzakova, A., & Gapich, V.A. (1996). [Zaysan earthquake of June 14, 1990]. *Zemletriaseniia v SSSR v 1990 godu* [Earthquake in the USSR in 1990] (pp. 54–60). Moscow: GS RAS Publ. (In Russ.).
23. Sydykov, A. (2004). *Seismicheskii rezhim territorii Kazakhstana* [Seismic regime of Kazakhstan territory]. Almaty, Kazakhstan: Gylym Publ., 270 p. (In Russ.).