

УДК 550.348. (574)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАЗАХСТАНА и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2018–2019 гг.

Н.Н. Михайлова¹, И.Н. Соколова², А.Ж. Жунусова³

¹Филиал «Институт геофизических исследований» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр» Республики Казахстан, г. Курчатов, mikhailova@kndc.kz

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, sokolovaIN@gstras.ru

³Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, г. Алматы, aijan.jun@mail.ru

Аннотация. В 2018–2019 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 него включено 1050 землетрясений с энергетическими классами $K_r=6.6–12.8$. Самое сильное землетрясение на рассматриваемой территории произошло 1 февраля 2019 г., $K_r=12.8$, $MPVA=5.6$, $M_w=5.0$. Его эпицентр находился на территории провинции Синьцзян (КНР) вблизи казахстанско-китайской границы. Землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах Казахстана. На территории, условно называемой «Северный Тянь-Шань», самое сильное землетрясение произошло 26 марта 2018 г., $K_r=12$, $MPVA=5.5$, эпицентр находился недалеко от Капчагайского водохранилища на территории Илийской впадины. В феврале 2018 г. произошла серия ощутимых землетрясений с эпицентрами в границах г. Алматы. За период 2018–2019 гг. на территории Казахстана произошли техногенные и природно-техногенные землетрясения в районах Западного, Центрального и Восточного Казахстана. В целом, период 2018–2019 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.

Для цитирования: Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Жунусова А.Ж. Сейсмичность Казахстана и прилегающих территорий в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 120–132. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.10> EDN: YFKEUM

Введение. В период 2018–2019 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 района «Северный Тянь-Шань» (рис. 2), ограниченного координатами: $41.67^{\circ}–45.00^{\circ}N$ и $75.00^{\circ}–80.00^{\circ}E$.

Действующие сети станций. В составе сети СОМЭ в течение 2018–2019 гг. работали 36 трехкомпонентных цифровых сейсмических станций (рис. 1, [Прил. 1]). В состав сети ИГИ входили пять сейсмических групп: Акбулак (АВКАР), Боровое (ВВАР), Каратау (ККАР), Курчатов-Крест (КУР), Маканчи (МКАР) и восемь трехкомпонентных станций: «Актюбинск» (АКТО), «Боровое» (ВРВК) (станция закрыта 21.08.2019 г.), «Бурабай» (ВОРК) (станция открыта 22.08.2019 г.), «Курчатов» (КУРК), «Подгорное» (ПДГК), «Маканчи» (МАКЗ), «Ортау» (ОТУК) и КНДС (рис. 1, 2, [Прил. 2]). Каждая организация имеет свои центры обработки данных, расположенные в г. Алматы. В ИГИ это КНИЦД, выполняющий функции Казахстанского национального Центра данных в составе Международной системы мониторинга Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [1].

За исследуемый период в составе сети ИГИ произошли небольшие изменения. 15 ноября 2018 г. на сейсмической станции Подгорное (ПДГК) произведена замена геофизического оборудования фирмы Guralp (Великобритания) на приборы фирмы Nanometrics (Канада) [Прил. 2]. Были установлены: 6-канальный регистратор Centaur, широкополосный (до 120 с) сейсмометр Trillium Compact и акселерометр (до 4g) Titan. Спутниковое оборудование, система питания остались прежними. У сейсмометра Trillium Compact диапазон частот 0.008–108 Гц значительно превышает этот параметр сейсмометра CMG-3ESPC. Кроме того, в конструкции сейсмометра Trillium Compact применена ортогональная ориентация маятников, что означает, что все три компонента находятся в равных физических условиях, что обеспечивает более надежную работу измерительной системы.

Уровень спектральной плотности сейсмического шума у нового комплекта оборудования снизился по сравнению с предыдущими комплектами [2] в широком диапазоне частот.

Сейсмические станции BRVK и KURK входят в состав глобальной сети мониторинга IRIS/IDA. В последние годы станции IRIS/IDA стали устанавливать в скважинах вместо штолен, шахт и др. В 2019 г. модернизация проведена для станций сети ИГИ НЯЦ РК, широкополосные сейсмометры STS1 и STS2 с дигитайзером Q330, размещенные в шахтах (табл. 1), заменили на широкополосные скважинные сейсмометры STS6 и STS5A. Поменялась частота оцифровки с 20 Гц на 40 Гц. Станция BRVK была перемещена из шахты в скважину на расстояние ~3 км к юго-востоку. В связи с этим станция поменяла код на BORK. Станция KURK осталась на прежнем месте (табл. 1). Для обеих сейсмических станций для рабочих частот 1–4 Гц спектральная плотность сейсмического шума стала ниже после модернизации и размещения оборудования в скважине, в связи с этим возможно повышение эффективности сейсмического мониторинга для сейсмических событий на локальных и региональных расстояниях.

Таблица 1. Характеристика сейсмической аппаратуры станций IRIS/IDA, обслуживаемых ИГИ РК

Станция	Комплект	Широта °N	Долгот °E	Период работы	Условия размещения	Глубина, м	Тип сейсмометра	Дигитайзер	Частота оцифровки
BRVK	00	53.058	70.282	1994-09-01 – 2019-08-21	шахта	15	STS1	Q330	20 Гц
BRVK	10	53.058	70.282	1994-09-01 – 2019-08-21	шахта	15	STS2	Q330	40 Гц
BORK	00	53.046	70.318	С 2019-08-22	скважина	42.5	STS6	Q330	40 Гц
BORK	10	53.046	70.318	С 2019-08-22	скважина	10.1	STS5A	Q330	40 Гц
KURK	00	50.715	78.620	1995-03-26 – 2019-08-31	шахта	25	STS1	Q330	20 Гц
KURK	10	50.715	78.620	1995-03-26 – 2019-08-31	шахта	25	STS2	Q330	40 Гц
KURK	00	50.715	78.620	С 2019-09-01	скважина	41.1	STS6	Q330	40 Гц
KURK	10	50.715	78.620	С 2019-09-01	скважина	9.9	STS5A	Q330	40 Гц

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 KRNЕT ИС НАН КР [3]. КНЦД привлекал данные сейсмических групп «Залесово» и «Алибек» сети Международной системы мониторинга [1], а также трехкомпонентных сейсмических станций «Чумыш», «Ала-Арча», «Токмак2» [4] 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 представительным энергетическим классом $K_{\min}=7.5$, только в центральной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау обеспечен более низкий порог представительной регистрации ($K_{\min}=6.0$) [5]. Для всей территории Казахстана обеспечена представительная регистрация землетрясений с $K_{\min}=8.6$.

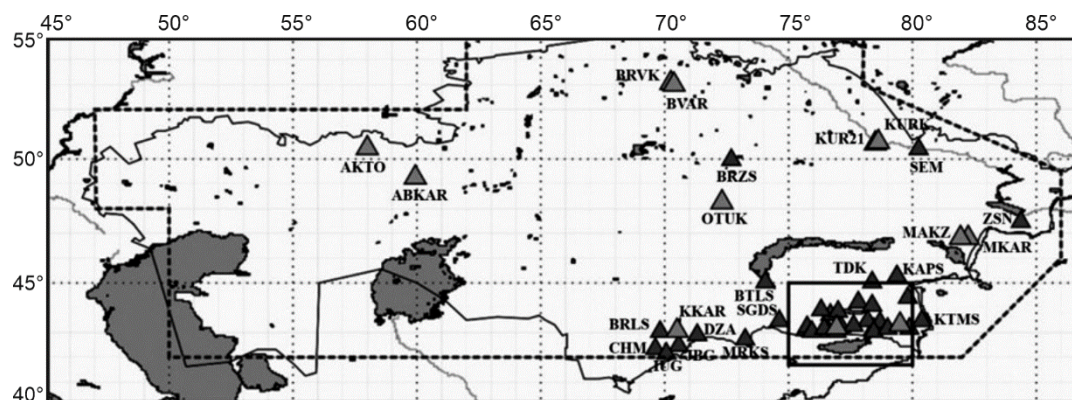


Рис. 1. Схема размещения сейсмических станций ИГИ (серые треугольники) и СОМЭ (темно-серые треугольники) на территории Казахстана

Пунктирная линия – граница территории «Казахстан». Прямоугольником в юго-восточной части Казахстана выделен район «Северный Тянь-Шань», схема размещения станций в котором детализирована на рис. 2.

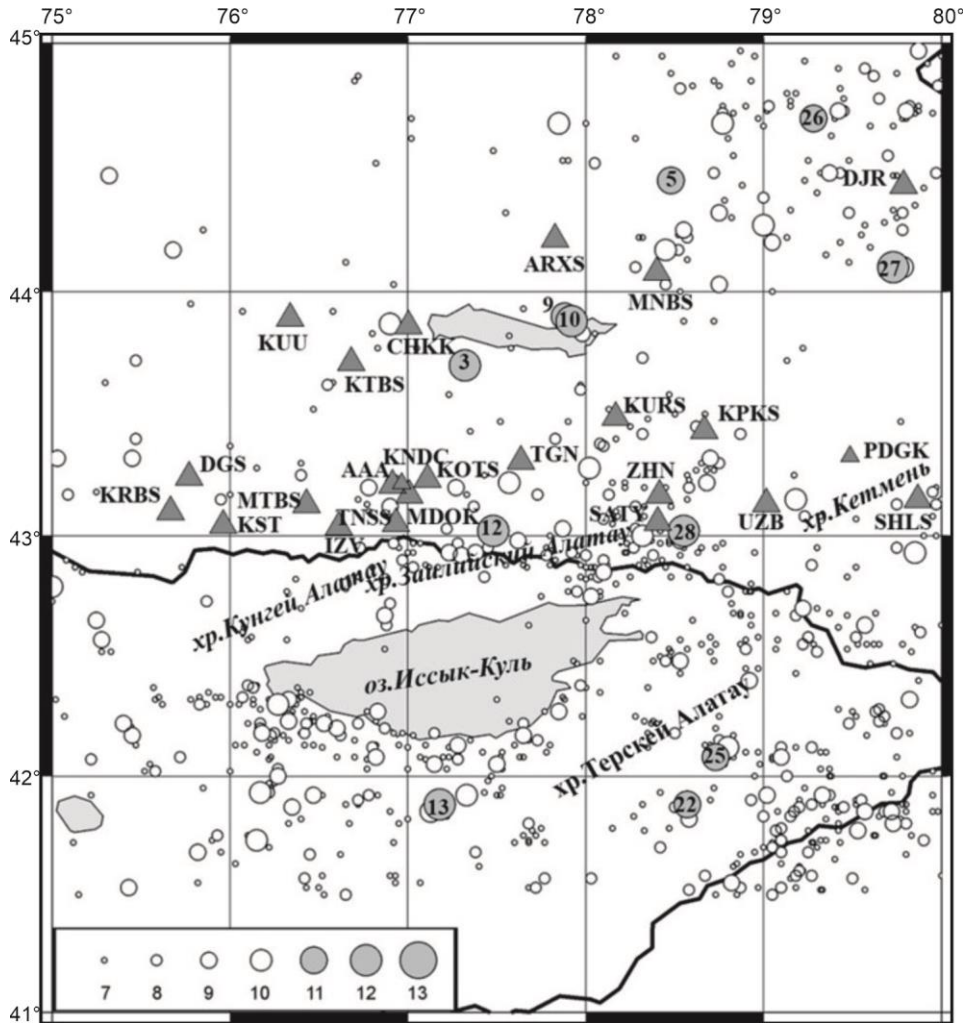


Рис. 2. Карта станций (треугольники) и эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня с $K_p \geq 6.6$ (кружки, размер кружков пропорционален энергетическому классу K_p , серым цветом выделены эпицентры землетрясений с $K_p \geq 10.6$, номер внутри соответствует таковому в [Прил. 3])

Методика определения основных параметров землетрясений в двух Центрах обработки остается постоянной в течение многих лет [6].

В СОМЭ для обработки сейсмических цифровых данных применяется разработанная А. Жунусовой система сейсмического анализа «Эпицентр» [6], которая использует программу Wgsnplot, где определение основных параметров гипоцентров землетрясений осуществляется пакетом «DIMAS» [7]. Для обработки данных используется региональный годограф Северного Тянь-Шаня [8], в основу которого заложена скоростная модель среды с дискретностью по глубине 5 км. Информация об обработанных событиях помещается на web-сайт СОМЭ [9].

В КНЦД для обработки сейсмических цифровых данных применяется разработанная З.И. Синевой совместная система обработки данных сейсмических групп и трехкомпонентных станций, которая использует программный пакет SEATOOLS, предоставленный казахстанскому центру американским национальным центром данных, а также 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 и подземных ядерных взрывов, произведенных на территории Семипалатинского испытательного полигона [12]. Для обработки данных сильных движений используется программа ViewWave, разработанная Т. Кашима [13].

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

Методика определения механизмов очагов землетрясений. Механизмы очагов в Казахстане определяются с 1969 г. по данным о направлениях смещений (знаках) в первых вступлениях продольных волн по стандартной методике Введенской А.В. [18]. С 2000 г. все построения ведутся машинным способом. Для этих целей в СОМЭ и ИГИ используется программа определения механизмов очагов Масаки Накамура [19], при этом совместно используются знаки первых вступлений P -волн по станциям СОМЭ и ИГИ.

Каталоги землетрясений. Каталог землетрясений за 2018–2019 гг., публикуемый в настоящем выпуске журнала [Прил. 3], включает 1050 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_p=6.6-12.8$. Файл *Электронного приложения* содержит, помимо указанного каталога, несколько дополнительных приложений: информацию о двух сетях сейсмических станций [Прил. 1, 2]; каталог параметров механизмов очагов, включающий механизмы очагов 32 землетрясений по региональным данным [Прил. 4]; дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2018–2019 гг. по данным международных центров [Прил. 5]; сведения об интенсивности сотрясений от 61 ошутимого землетрясения в 34 населенных пунктах Кыргызстана и Китая; таблицы макросейсмического эффекта ошутимых землетрясений [Прил. 6] и сведения о населенных пунктах, в которых они ощущались [Прил. 7].

На рис. 3 представлена карта эпицентров землетрясений с $K_p \geq 8.6$ на всей территории Казахстана и в приграничных районах. В основном землетрясения приурочены к горной части юго-востока и востока Казахстана, а также прилегающих территорий Кыргызстана и Китая. Большая часть землетрясений относится к району Северный Тянь-Шань и Джунгария, сейсмичность которого показана отдельно на рис. 2, относительно небольшое их количество зарегистрировано на территории Восточного Казахстана, а также в районах интенсивного антропогенного воздействия на среду – вблизи г. Экибастуз, Жезказганского меднорудного месторождения, Тенгизского нефтяного месторождения. Кроме того, одно из землетрясений произошло вблизи г. Астана, в асейсмичном районе.

Для 32 землетрясений определены механизмы очагов [Прил. 4]. Дополнительно для шести событий собраны данные по механизмам очагов из Международного сейсмологического центра (ISC), которые приведены в [Прил. 5]. В национальных центрах обработки эти механизмы не были определены в силу неудовлетворительного азимутального распределения станций относительно эпицентра.

На рис. 4 показана карта всех определенных механизмов очагов как по основному, так и по дополнительному каталогам с энергетическим классом $K_p \geq 10.6$.

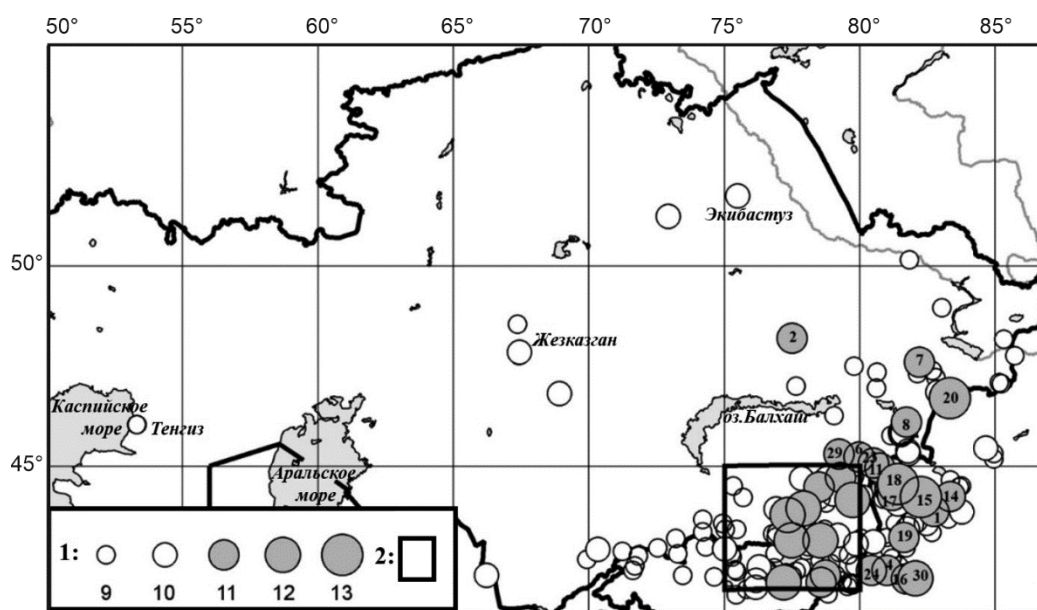


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Казахстана с $K_p \geq 8.6$

1 – эпицентры землетрясений, размер кружка пропорционален энергетическому классу K_p , серым цветом выделены эпицентры землетрясений с $K_p \geq 10.6$, пронумерованы сильные ($K_p \geq 10.6$) землетрясения в соответствии с графой 2 каталога землетрясений Казахстана [Прил. 3]; 2 – граница района «Северный Тянь-Шань».

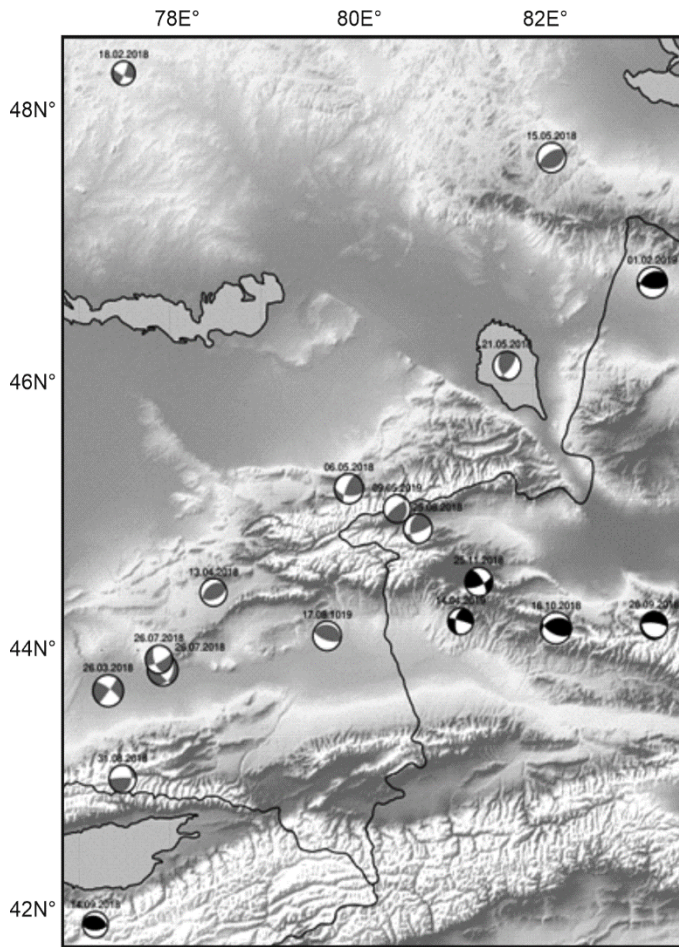


Рис. 4. Диаграммы механизмов очагов землетрясений с $K_p \geq 10.6$ согласно [Прил. 4] (серые значки) и [Прил. 5] (черные значки)

Наибольшее количество определенных механизмов очагов традиционно относится к землетрясениям восточной части территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии. Этот район достаточно хорошо изучен с точки зрения напряженно-деформированного состояния [20]. Параметры механизмов отчетного периода подтверждают сделанные ранее выводы о системе действующих напряжений и преобладании близмеридионального близгоризонтального сжатия [20]. Большая часть событий имеет взбросовый характер подвижки с элементами сдвига. С юга на север Восточного Казахстана направление осей напряжений сжатия меняется от меридионального на северо-западное, что соответствует описанным в работе [21] типичным особенностям поля напряжений в Центральной Азии. Эта область гораздо менее изучена, чем Северный Тянь-Шань и южная Джунгария. Поэтому наиболее северные очаги на рис. 4, о которых речь пойдет ниже, представляют особый интерес.

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

3 апреля 2018 г. в 09^h11^m сейсмической сетью ИГИ РК было зарегистрировано сейсмическое событие с $K_p=8.6$, $h=6$ км, $MPVA=3.2$ с эпицентром вблизи нефтегазового месторождения Тенгиз. Район месторождения Тенгиз относится к асейсмичным районам Казахстана, однако с 1997 г., по данным международных сейсмологических центров, в этом районе регистрируются сейсмические события малой энергии.

19–20 июня 2018 г. сейсмические сети Казахстана зарегистрировали обрушения целиков в районе Жезказганского месторождения, сейсмические события имели $K_p=9.0 \div 9.6$. Следует отметить, что такие обвалы техногенные сейсмические события регистрировались в течение длительного периода, с 1994–2009 гг. [22]. Самое сильное из них произошло 01.08.1994 г. с $mb=4.8$, $M_s=4.5$ на территории карьера Златоуст-Беловский вблизи г. Жезказгана. После 2009 г. сильных событий в районе Жезказганского месторождения не было. Это связано с изменением технологии подземной добычи руды с исключением опасной отработки богатым содержанием металла горных целиков (оставшихся со времен СССР), которые к тому времени были все отработаны. После 2010 г. подземная добыча проводилась в меньших объемах, большая часть работ проводилась с поверхности в открытых горных выработках [22]. Однако в 2018 г. обрушения целиков возобновились.

23 августа 2019 г. в 14^h27^m в районе г. Экибастуза произошло сейсмическое событие с $K_p=10.1$, $MPVA=3.9$, $h=0$ км. Землетрясение вызвало в г. Экибастузе ($\Delta=15$ км) сотрясения с интенсивностью $I=2-3$ балла по шкале MSK-64. Этот район считается асейсмичным, здесь практически не происходят сильные природные тектонические землетрясения. Отметим, что примерно через два часа произошел афтершок первого землетрясения с $K_p=8.2$. В табл. 2 приведены параметры землетрясений в районе Экибастуза в 2019 г. [23]. Анализ данных сейсмологических бюллетеней КНЦД выявил, что землетрясения в районе месторождения случаются регулярно

(рис. 5), начиная с 2010 г. наблюдается рост количества землетрясений. Энергия этих землетрясений невелика, но согласно известным прецедентам в других районах интенсивной разработки угля, например, в Кузбассе, в районе Экибастуза возможны более сильные ощутимые землетрясения в будущем.

Таблица 2. Параметры землетрясений в районе Экибастуза

Дата д м г	t_0 , ч мин с	Гипоцентр					Магнитуда, энергетический класс	Источник
		φ° , N	λ° , E	$\Delta\varphi$, км	h , км	δh , км		
23 08 2019	14 27 10.2	51.64	75.48	11	0f	–	$MPVA=3.9$, $K_p=10.1$	[Прил. 3]
23 08 2019	16 24 44.1	51.56	75.39	8	0f	–	$MPVA=3.3$, $K_p=8.2$	[23]

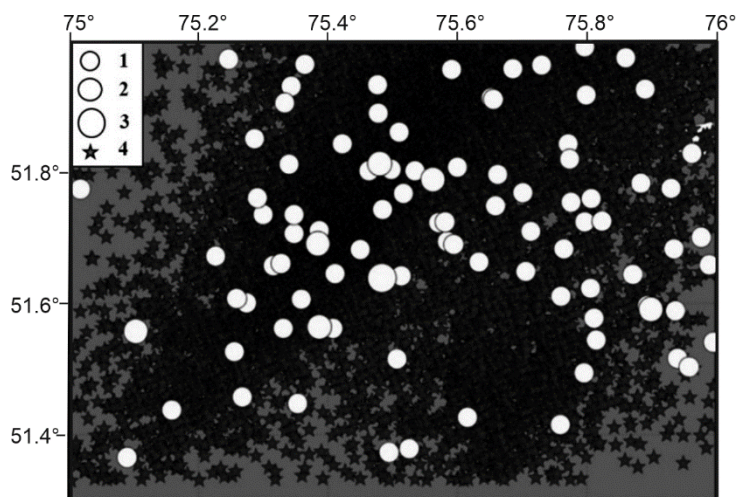


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений (кружки) и взрывов (звездочки) на карьерах Экибастуза за 2011–2022 гг.

Землетрясения: 1 – $MPVA \leq 3$, 2 – $3 < MPVA < 4$, 3 – $MPVA \geq 4$; 4 – карьерные взрывы [24].

Представляется, что более вероятной может быть нодальная плоскость юго-восточного простирания, круто, под углом 74° , падающая на юг–юго-запад и близкая по простиранию к ориентации основных региональных разломов. Отметим, что в 2015 г. примерно в 120 км на северо-восток от рассматриваемого землетрясения произошло Чингизское землетрясение [25], связанное с зоной Главного Чингизского разлома северо-западного простирания. Однако, как отмечено в [25], ни одна из нодальных плоскостей механизма очага этого землетрясения не совпадала с его северо-западным простиранием. Вероятно, подвижка типа взброса с незначительной сдвиговой компонентой при Чингизском землетрясении произошла по секущему или оперяющему разлому. Можно отметить, что для двух описанных событий слабоактивной территории, достаточно близко расположенных в пространстве и во времени, не выявлено полного подобия в механизмах очагов.

29 января 2019 г. в $12^{\text{h}}30^{\text{m}}$ было зарегистрировано сейсмическое событие с $K_p=9.6$, $MPVA=4.0$, $h=5$ км на расстоянии около 100 км к востоку от Астаны. Анализ данных исторических и современных каталогов землетрясений показал, что в этом районе никогда ранее не происходили землетрясения даже меньшей энергии. Поэтому в определенной степени это событие можно считать уникальным.

Самым сильным событием на рассматриваемой территории было землетрясение 1 февраля 2019 г. в $21^{\text{h}}54^{\text{m}}$ (20 на рис. 3), с эпицентром вблизи Казахстанско-Китайской границы, на территории Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР [Прил. 3]. Энергетический класс землетрясения $K_p=12.8$, моментная магнитуда $M_w=5.0$. На рис. 7 приведены записи этого события станциями сети ИГИ. Землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах Восточного Казахстана: п. Маканчи ($\Delta=93$ км) 4 балла, п. Урджар ($\Delta=134$ км) 3–4 балла, г. Зайсане ($\Delta=143$ км), г. Усть-Каменогорске ($\Delta=363$ км) 2–3 балла [Прил. 6]. Механизм очага этого землетрясения по данным GCMТ показан на рис. 4, 6 и приведен в [Прил. 5]. Эпицентр землетрясения расположен

Интерес представляет тектоническое землетрясение 18 февраля 2018 г. в $09^{\text{h}}47^{\text{m}}$ с $K_p=10.6$ (рис. 6). Эпицентральная зона – это слабосейсмичная территория, где события такой силы – большая редкость. Эпицентр землетрясения расположен в юго-восточной части Казахского мелкосопочника, в зоне Жоргинского тектонического разлома северо-западного простирания. На рис. 6 диаграмма его механизма очага нанесена на тектоническую карту, построенную Великановым А.Е. (публикуется впервые). По обеим нодальным плоскостям произошли сдвиги по круто падающим плоскостям с незначительными компонентами сброса. Нам пред-

у подошвы южного склона хр. Тарбагатай близ тектонических разломов северо-западного и субширотного простирания, являющихся продолжением Южно-Тарбагатайского разлома. Скорее всего, очаг связан именно с субширотным разломом, отмеченным на карте севернее эпицентра. Наиболее вероятна в качестве действующей в очаге нодальная плоскость $NP1$ субширотного простирания ($STK=98$), падающая на юг под углом 59° , по которой произошел взброс с компонентами сдвига.



Рис. 6. Карта разломов территории Тарбагатай и Казахского мелкосопочника с нанесенными диаграммами механизмов очагов из [Прил. 4] (серые значки) и [Прил. 5] (черные значки). Треугольник – сейсмическая группа Маканчи

Обработаны записи сильных движений при этом землетрясении станций MAKZ, PDGN, KURK, KNDC. Максимальное ускорение было зарегистрировано на станции MAKZ на расстоянии 102 км, канал С-Ю, $A_{max}=2.4 \text{ см/с}^2$ (рис. 8).

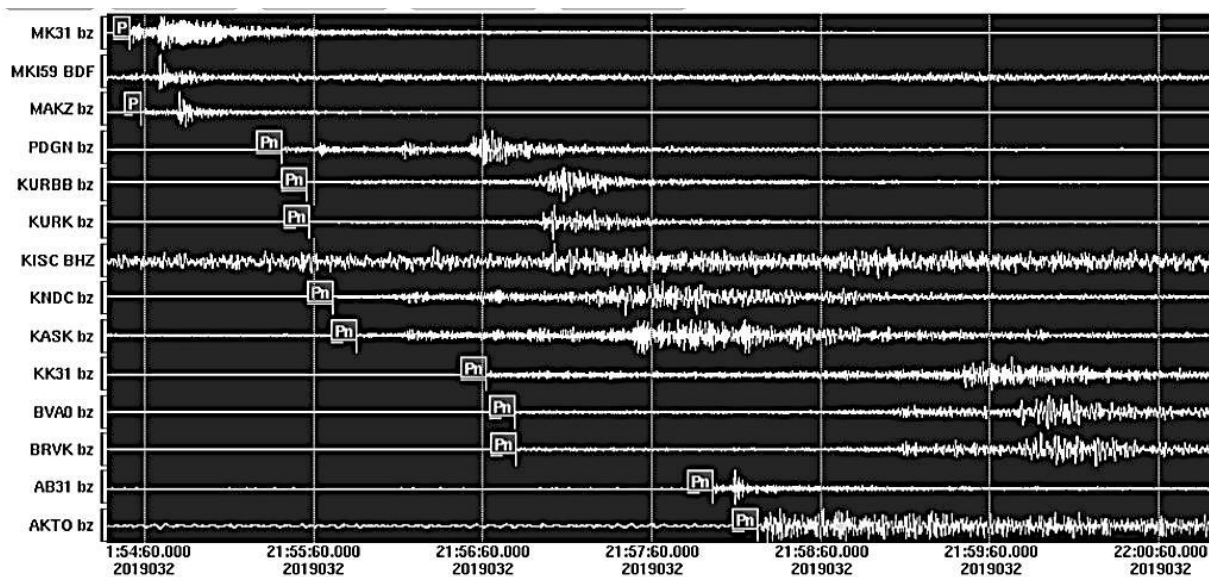


Рис. 7. Сейсмограммы землетрясения 1 февраля 2019 г. на территории северного Синьцзяна по данным станций ИГИ РК

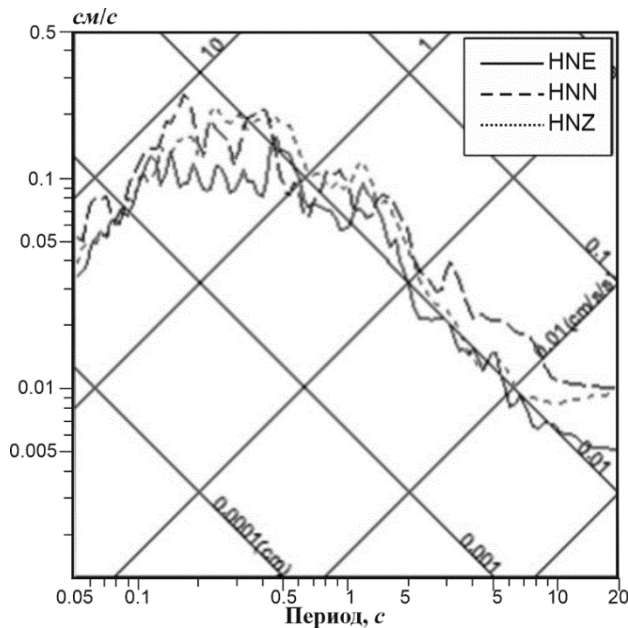


Рис. 8. Спектры реакции землетрясения 1 февраля 2019 г. по данным станции «МАКЗ»

торым в 2018 г. $\gamma = -0.46$, $A_{10} = 0.074$, а в 2019 г. $\gamma = -0.52$, $A_{10} = 0.060$. Из сопоставления полученных значений с долговременными средними параметрами можно заключить, что угол наклона графика повторяемости в 2018 г. совпал с долговременным средним значением, в 2019 г. – немного превысил его, однако сейсмическая активность района в 2018–2019 гг. была ниже долговременных средних значений.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам и суммарная высвобожденная сейсмическая энергия ΣE на Северном Тянь-Шане

Год	K_p	7	8	9	10	11	12	$\Sigma E, Дж$
2018	$N(K)$	276	74	30	10	2	4	$2.86 \cdot 10^{12}$
2019	$N(K)$	302	83	31	8	3	2	$1.51 \cdot 10^{12}$

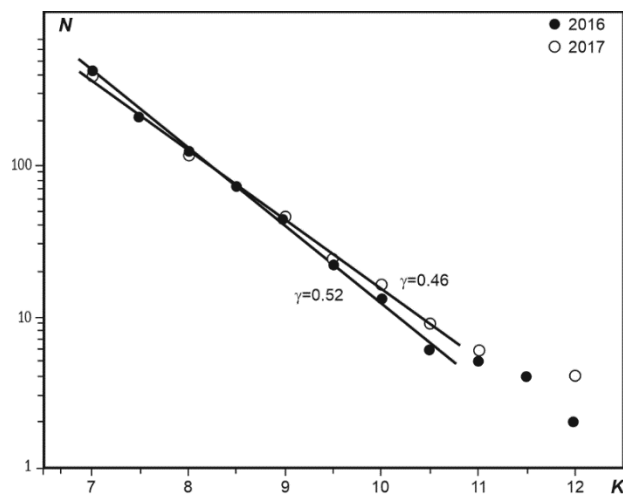


Рис. 9. Графики повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2018–2019 гг.

2018 г. в 22^h15^m и ощущалось в г. Алматы с интенсивностью $I = 2-3$ балла, а также пос. Кзыл-Суу $I = 3$ балла. Очаг землетрясения находился на южном берегу оз. Иссык-Куль, вблизи пос. Каджисай. Акселерометр станции KNDC (146 км) зарегистрировал пиковое ускорение $A_{max} = 2.3 \text{ см/с}^2$ на канале С-Ю, а станции KASK (152 км) – $A_{max} = 1.2 \text{ см/с}^2$ на канале В-З.

Сейсмичность Северного Тянь-Шаня. Традиционно выделенная рамкой на рис. 1 и 3 территория Северного Тянь-Шаня рассматривается детально с уровня энергетических классов $K_p \geq 6.6$.

На территории Северного Тянь-Шаня зарегистрировано в 2018 г. 396, а в 2019 г. – 429 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 2018–2019 гг. представлена на рис. 2. Проведено сравнение параметров сейсмического режима с долговременными средними значениями ($\gamma = -0.46$, $A_{10} = 0.09$), определенными для района Северного Тянь-Шаня в работе А. Сыдыкова [26] по графикам повторяемости за 1951–1995 гг. На рис. 9 приведены графики повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2018 и 2019 гг., согласно ко-

В пределах рамки «Северный Тянь-Шань» самое сильное землетрясение (3 на рис. 2) зарегистрировано 26 марта 2018 г. в 05^h01^m с $K_p = 12.0$ (Прил. 3), к югу от Капчагайского водохранилища в Талгарском районе Алматинской области. Землетрясение ощущалось в г. Алматы на расстоянии 60 км от эпицентра, интенсивность сотрясений составила 3–4 балла, в населенных пунктах Алматинской области Талгар, Каскелен – 3–4 балла, Боролдай – 3 балла, в г. Бишкеке – 2 балла. Акселерометр станции KNDC зарегистрировал пиковое ускорение $A_{max} = 3.1 \text{ см/с}^2$ на канале С-Ю, на станции MDO $A_{max} = 1.9 \text{ см/с}^2$ на канале С-Ю, на станции KASK $A_{max} = 3.4 \text{ см/с}^2$ на канале С-Ю. Механизм очага землетрясения (сдвиг) приведен на рис. 4.

Другое сильное землетрясение с $K_p = 11.9$, $M_S = 4.0$, $h = 15 \text{ км}$ произошло 14 сентября

Большой резонанс у жителей мегаполиса Алматы в феврале 2018 г. вызвали землетрясения небольшой энергии, эпицентры которых находились непосредственно в границах г. Алматы. Землетрясения ощущались многими жителями. Первое событие произошло 2 февраля 2018 г. в 15^h20^m по местному времени (в 09^h20^m по Гринвичу) с $h=10$ км, $K_p=8.9$. Эпицентр землетрясения зафиксирован в южной части г. Алматы, оно ощущалось с интенсивностью 4 балла. Параметры землетрясения, определенные различными агентствами, приведены в табл. 4, а положение эпицентра по данным разных обрабатывающих центров показано на рис. 10. Максимальное расхождение в положении эпицентра, определенном различными центрами обработки, находится в пределах точности определения эпицентра и достигает 6 км.

Сейсмограмма Алматинского землетрясения 2 февраля 2018 г., записанного станцией KNDC, приведена на рис. 11. Несмотря на относительно небольшую энергию, землетрясение сопровождалось несколькими афтершоками с энергетическими классами менее $K_p=4.4$. В первые сутки сетью станций ИГИ и СОМЭ МОН РК было зарегистрировано три афтершока, 4 и 5 февраля – еще два толчка. Отметим, что в районе очага 30 января произошли два слабые землетрясения, которые можно трактовать как фолшоки.

Другое землетрясение на территории г. Алматы произошло 15 февраля 2018 г. в 23^h38^m по местному времени (в 17^h38^m по Гринвичу) с $h=4$ км, $K_p=7.4$, $MPVA=3.4$. Землетрясение ощущалось в г. Алматы с интенсивностью 2 балла. Волновая форма землетрясения имеет большую корреляцию с сейсмограммой землетрясения 2 февраля. Можно предположить, что это связано со сходными условиями в очагах двух землетрясений, которые находятся практически в одном месте, на расстоянии 2 км друг от друга. Очаги локализируются в южной части города вблизи хребта Заилийский Алатау. При этом в тектоническом плане эпицентр землетрясения 2 февраля 2018 г. расположен на сочленении оперяющих разломов второго порядка север–северо-восточного простирания с главным Заилийским разломом северо-восточного простирания (рис. 10). В данном месте Заилийский разлом носит прерывистый характер со смещениями по пересекающим его разломам.

В работе [27] было показано, что начиная с 2005 г. цифровые сейсмические станции на территории города и вблизи него регистрируют события в черте города. Тем более это стало очевидно в связи с расширением территории города и присоединением к нему новых районов, в которых фиксируются очаги землетрясений. Так, за период времени 01.01.2005–04.12.2014 гг. на территории города и его ближайших окрестностей было зарегистрировано 1293 землетрясения с энергетическими классами $K_p=2.7–9.7$ [27].

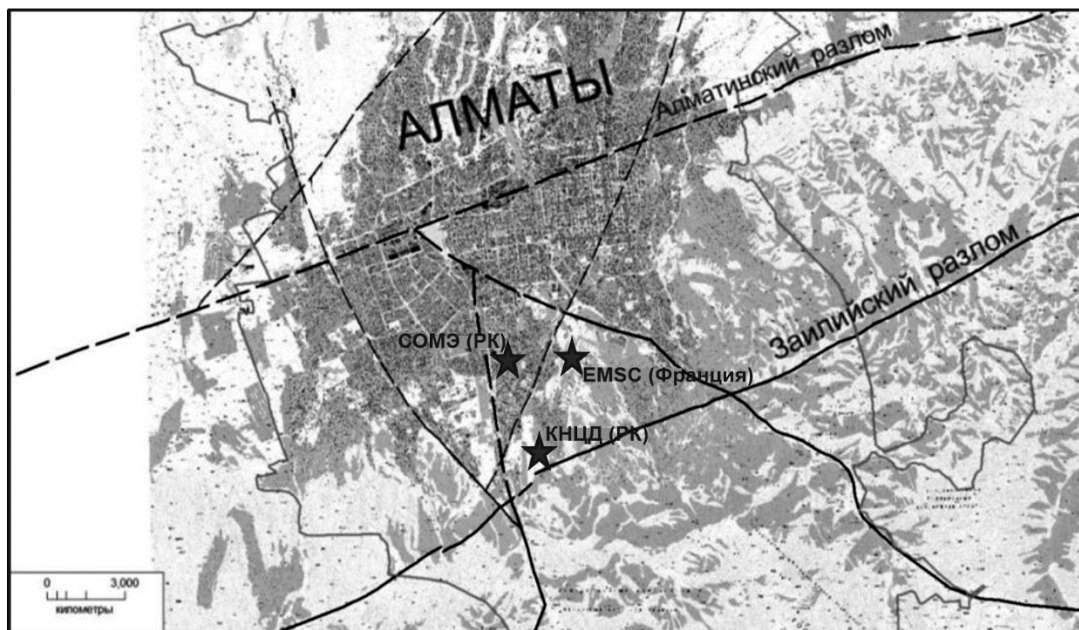


Рис. 10. Карта территории города Алматы с расположением основных тектонических разломов и трех решений для эпицентра землетрясения 2 февраля 2018 г. по данным трех центров обработки

Таблица 3. Параметры землетрясения 2 февраля 2018 г.
по данным различных центров обработки данных

№	Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Источник
				φ° , N	λ° , E	$\delta\varphi$, λ , км	h , км	δh , км		
1	КНИЦД	9 20 44.3	–	43.17	76.87	2	0 f	–	$MPVA=3.7$, $K_p=8.7$	[28]
2	СОМЭ	9 20 44	–	43.22	76.92	–	10	–	$MPVA=3.7$, $K_p=8.5$	[28]
2	ИГИ+СОМЭ	9 20 44.3	0.3	43.22	76.92	25	10 f	–	$MPVA=4.1$, $mb=3.9$, $K_p=8.9$	Прил. 3
3	MOS	9 20 44.4	–	43.22	76.92	–	12	–	$MPSP=3.7$	[28]
4	NEIC	9 20 46.0	0.8	43.11	76.84	8	14.7	7.2	$mb=3.8$	[28]
5	ISC	9 20 44.5	0.7	43.19	76.90	2	6.8	4.2	–	[28]

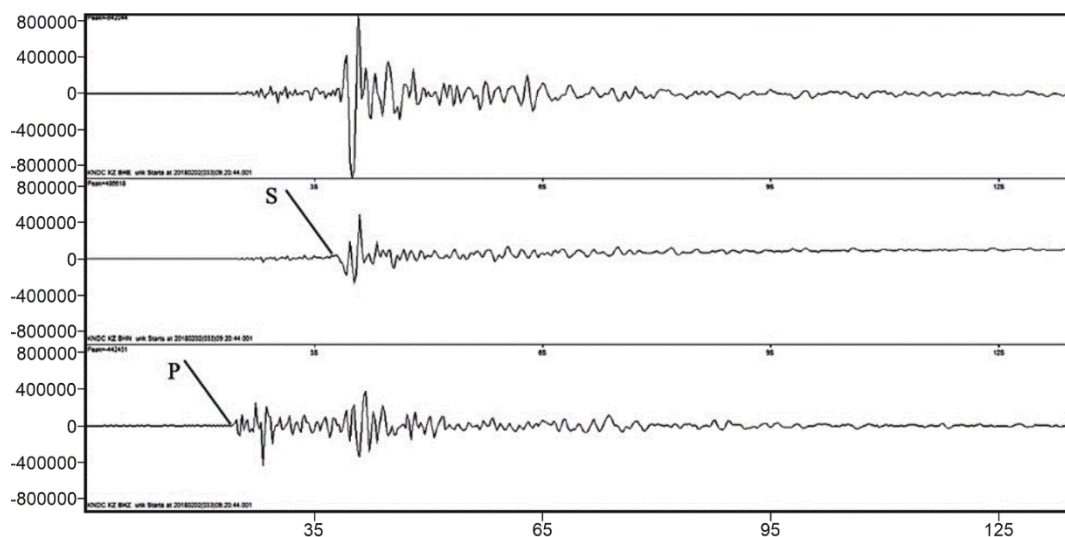


Рис. 11. Сейсмограмма землетрясения 2 февраля 2018 г. по станции KNDC

Заключение. Для большей части территории Казахстана период 2018–2019 гг. характеризовался умеренной сейсмической активностью. Самое сильное землетрясение в зоне ответственности произошло 1 февраля 2019 г. с $K_p=12.8$, $MPVA=5.6$, $M_w=5.0$ на территории провинции Синьцзян (КНР) вблизи казахстанско-китайской границы. Землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах Казахстана. На территории, условно называемой «Северный Тянь-Шань», самое сильное землетрясение произошло 26 марта 2018 г. с $K_p=12$, $MPVA=5.5$ недалеко от Капчагайского водохранилища (Илийская впадина). В феврале 2018 г. произошла серия ощутимых землетрясений с эпицентрами в границах г. Алматы. Несколько техногенных и природно-техногенных землетрясений зарегистрировано в ранее традиционно считавшихся асейсмичными районах в местах добычи твердых и жидких полезных ископаемых, расположенных в районах западного, центрального, северо-восточного Казахстана.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Жунусова А.Ж., Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Бектурганова Б.Б., Неверова Н.П., Досайбекова С.К., Далбаева Ж.А., Утешова Р.З., Бостанова Н.Ш., Узбеков Р.Б., Сейнасинов Н.А., Рябенко О.В., Полешко Н.Н., Пойгина С.Г., Лукаш Н.А., Соколова И.Н.

Электронное приложение App05c_Kazakhstan_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции Сейсмологической опытно-методической экспедиции Министерства образования и науки Республики Казахстан в 2018–2019 гг.; 2 – Сейсмические группы и станции Республиканского государственного предприятия «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан в 2018–2019 гг.; 3 – Каталог землетрясений Казахстана за 2018–2019 гг.; 4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2018–2019 гг.; 5 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2018–2019 гг. по данным международных центров; 6 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Казахстана и Кыргызстана в 2018–2019 гг.; 7 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Казахстана за 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

1. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Приложение 1. – Вена, 2009. – 153 с.

2. Соколов А.Н., Мусрепов А.В. Влияние типа аппаратуры на сейсмические шумы (на примере сейсмической станции «Подгорное») // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – Вып. 3. – С. 88–95.
3. Берёзина А.В. (отв. сост.). Сейсмические станции Кыргызстана в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
4. Vernon F. Kyrgyzstan seismic telemetry network // IRIS Newslett. – 1992. – V. 11, N 1. – P. 7–9.
5. Неверова Н.П., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Казахстан // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 119–131.
6. 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.
7. Drozdnin D., Droznina S. Interactive DIMAS program for processing seismic signals. Seismic Instruments. – 2011. – N 47. – P. 215–224. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
8. 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.
9. ТОО «СОМЭ». (2023). [Веб-сайт]. – URL: <http://some.kz>
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. – Вып. 2 (10). – С. 46–54.
13. Kashima T. ViewWave Help. – 2002. – PSEE, BRL.
14. Казахстанский национальный центр данных. (2023). [Веб-сайт]. – 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. Введенская А.В. Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. – М.: Наука, 1969. – С. 47–66.
19. Nakamura M. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of *P* and *S* waves // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2002. – V. 130, N 1–2. – P. 17–29.
20. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Восточного Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – С. 142–146.
21. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Сейсмичность и характер напряжённо-деформированного состояния в слабосейсмичных районах Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. – С. 140–153.
22. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Вып. 2. – С. 47–57.
23. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е. Техногенно-индуцированные сейсмические события на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона по данным полевых наблюдений // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.01>
24. Аристова И.Л., Соколова И.Н., Великанов А.Е. Индуцированная сейсмичность в районах угольных месторождений Восточного Казахстана по данным сети KZNET // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2022. – № 2 (20). – С. 13–23.
25. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н., Соколов А.Н. Чингизское землетрясение 20 января 2015 г. с $K_p=12.2$, $m_b=5.6$, $I_0^P=5-6$ баллов вблизи Семипалатинского полигона (Восточный Казахстан) // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 258–266. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.25>
26. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. – Алматы: «Гылым», 2004. – 270 с.
27. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н. Землетрясения на территории города Алматы // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 3. – С. 87–93.
28. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>

SEISMICITY of KAZAKHSTAN and ADJACENT TERRITORIES in 2018–2019

N.N. Mikhailova¹, I.N. Sokolova², A.Zh. Zhunusova³

¹Branch Institute of Geophysical Research of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, mikhailova@kndc.kz

²Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, sokolovaIN@gsras.ru

³Seismological Experience-Methodical Expedition of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Almaty, aijan.jun@mail.ru

Abstract. In 2018–2019, the seismic monitoring in Kazakhstan was conducted by the 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 1050 earthquakes with energy class $K_R=6.6–12.8$. The strongest earthquake within the considered territory occurred on February 1, 2019, $K_R=12.8$, $MPVA=5.6$, $M_w=5.0$. Its epicenter was located on the territory of Xinjiang (China), near the Kazakhstan–Chinese border. The earthquake was felt in numerous settlements in Kazakhstan. On so-called “Northern Tien Shan” territory, the strongest earthquake occurred on March 26, 2018, $K_R=12.0$, $MPVA=5.5$, the epicenter was near Kapchagay water basin on the territory of Iliy depression. For the period 2018–2019, on the territory of Kazakhstan there were induced and natural-induced earthquakes at the west, central, and east Kazakhstan. In whole, the period of 2018–2019 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.

For citation: Mikhailova, N.N., Sokolova, I.N., & Zhunusova, A.Zh. (2023). [Seismicity of Kazakhstan and adjacent territories in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 120–132. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.10> EDN: YFKEUM

R e f e r e n c e s

1. Comprehensive Test-Ban Treaty. (2009). Appendix 1. Vienna, Austria, 153 p.
2. Sokolov, A.N., & Musrepov, A.V. (2019). [Instrument effect on seismic noise (by example of “Podgornoye” seismic station)]. *Vestnik NIATs RK* [NNC RK Bulletin], 3, 88–95. (In Russ.).
3. Berezina, A.V. (2023). [Seismic stations of Kyrgyzstan in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
4. Vernon, F. (1992). Kyrgyzstan seismic telemetry network. *IRIS Newslett*, 11(1), 7–9.
5. Neverova, N.P., Mikhailova, N.N., & Sokolova, I.N. (2017). [Kazakhstan]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2011 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2011] (pp. 119–131). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
6. Beisenbaev, R.T., Li, A.N., Kalmykova, N.A., Neverova, N.P., Mikhailova, N.N., & Sokolova, I.N. (2010). [Kazakhstan]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 130–141). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
7. Droznin, D., & Droznina, S. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47, 215–224. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
8. Razakov, E.R. (1986). [To the issue of modernization of algorithm on determining parameters of earthquakes hypocenters]. In *Kompleksnye issledovaniia na Alma-Atinskome prognosticheskom poligone* [Integrated investigations at Alma-Ata prediction site] (pp. 108–112). Alma-Ata, Kazakhstan: Nauka Publ. (In Russ.).
9. Seismological Experience-Methodical Expedition. (2023). Retrieved from <http://some.kz>
10. Mikhailova, N.N., & Sineva, Z.I. (2002). [Processing of the NNC RK seismic stations data]. *Vestnik NIATs RK* [NNC RK Bulletin], 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: NNC RK Bulletin], 2(10), 46–54. (In Russ.).

13. Kashima, T. (2002). ViewWave Help. *IISEE, BRI*.
14. Kazakhstan National Data Centre. (2023). 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 *Ekspierimental'naiia 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 stantsiiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudenii SSSR*. (1982). [Instructions on the order of monitoring and processing of events at the seismic stations included into the USSR United system of seismic observations]. Moscow: Nauka Publ., 273 p. (In Russ.).
18. Vvedenskaia, A.V. (1969). *Issledovaniia napriazhenii i razryvov v ochagakh zemletriasenii pri pomoshchi teorii dislokatsii* [Investigation of stresses and discontinuities in earthquake sources using the theory of dislocations]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 47–66. (In Russ.).
19. Nakamura, M. (2002). Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of *P* and *S* waves. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 130(1–2), 17–29.
20. Mikhailova, N.N., & Poleshko, N.N. (2005). [Earthquake sources mechanisms of Eastern Kazakhstan]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 2, 142–146. (In Russ.).
21. Mikhailova, N.N., & Poleshko, N.N. (2013). [Seismicity and stress and strain state in seismically quiet regions of Kazakhstan]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 2, 140–153. (In Russ.).
22. Sokolova, I.N., Mikhailova, N.N., Velikanov, A.E., & Poleshko, N.N. (2017). [Induced seismicity on Kazakhstan territory]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 2, 47–57. (In Russ.).
23. Sokolova, I.N., Mikhailova, N.N., & Velikanov, A.E. (2020). [Induced seismic events on the territory of the former Semipalatinsk Test Site (STS) according to the data of field observations]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(4), 7–15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.01>
24. Aristova, I.L., Sokolova, I.N., & Velikanov, A.E. (2022). [Induced seismicity at coal mining regions in the east of Kazakhstan by data of KZNET network]. *Vestnik Instituta seismologii NAN KR* [Bulletin of Institute of Seismology NAS KR], 2(20), 13–23. (In Russ.).
25. Mukamabyev, A.S., Mikhailova, N.N., & Sokolov, A.N. (2021). [Chingiz earthquake on January 20, 2015, $K_R=12.2$, $m_b=5.6$, $I_0=5-6$ near the Semipalatinsk polygon (Eastern Kazakhstan)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 258–266. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.25>
26. Sydykov, A. (2004). *Seismicheskii rezhim territorii Kazakhstana* [Seismic regime of Kazakhstan territory]. Alma-Ata, Kazakhstan: Gylym Publ., 270 p. (In Russ.).
27. Mikhailova, N.N., Sokolova, I.N., Velikanov, A.E., & Sokolov, A.N. (2015). [Earthquakes on the territory of Almaty]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 3, 87–93. (In Russ.).
28. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>