

УДК 550.348. (574)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАЗАХСТАНА и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2020 году

Н.Н. Михайлова¹, А.С. Мукамбаев¹, А.Ж. Жунусова²

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

²Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы, aijan.jun@mail.ru

Аннотация. В 2020 г. сейсмический мониторинг в Казахстане проводили, как и ранее, две организации: Государственное учреждение «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан и филиал «Институт геофизических исследований» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр» Министерства энергетики Республики Казахстан. В статье представлены подробные сведения о сетях сейсмических наблюдений, дана характеристика составленного сводного каталога землетрясений Казахстана по данным двух организаций. В него включено 503 землетрясения с энергетическими классами $K_p=6.6-12.1$. Самое сильное землетрясение на рассматриваемой территории произошло 6 июня 2020 г. с $K_p=12.1$, $MPVA=5.6$, $MS=4.4$. Его эпицентр находился в отрогах хребта Джунгарский Алатау, в 36 км на юго-восток от г. Талдыкоргана, где землетрясение ощущалось с интенсивностью 4 балла по шкале MSK-64. На территории, условно называемой «Северный Тянь-Шань», зарегистрировано 429 землетрясений с энергетическим классом выше 6.6. Приводятся графики повторяемости и рассчитанные параметры сейсмического режима, описаны механизмы очагов для землетрясений с $K_p \geq 9$ и параметры записей сильных движений для 17 землетрясений. За 2020 г. на всей территории Казахстана сейсмическими сетями зарегистрировано 4416 карьерных и шахтных взрывов, а также несколько техногенных землетрясений в районах добычи жидких и твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: каталог, землетрясение, сейсмическая активность, Казахстан, асейсмичный район, техногенное землетрясение, карьерные взрывы.

Для цитирования: Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Жунусова А.Ж. Сейсмичность Казахстана и прилегающих территорий в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 114–126. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.10> EDN: FSUOOR

Введение. Сейсмические наблюдения на территории Казахстана в 2020 г. проводились Государственным учреждением «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (далее СОМЭ) и филиалом «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Министерства энергетики Республики Казахстан (далее ИГИ). В статье приводится характеристика сейсмичности как территории всего Казахстана, так и, более детально, района «Северный Тянь-Шань», ограниченного координатами $\varphi=41.67^\circ-45.00^\circ\text{N}$ и $\lambda=75.00^\circ-80.00^\circ\text{E}$ (рис. 1, 2).

Действующие сети станций. В составе сети СОМЭ в течение 2020 г. работали 36 трехкомпонентных цифровых сейсмических станций (рис. 1, [Прил. 1]). В состав сети ИГИ входили пять сейсмических групп: Акбулак (АВКАР), Боровое (ВВАР), Каратау (ККАР), Курчатова-Крест (КУР), Маканчи (МКАР) и семь трехкомпонентных станций: «Актюбинск» (АКТО), «Бурабай» (БОРК), «Курчатова» (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 КНЦД, выполняющий функции Казахстанского национального Центра данных в составе Международной системы мониторинга Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [1].

СОМЭ для улучшения локации гипоцентров землетрясений дополнительно к материалам своих станций традиционно привлекала бюллетени станций «Ала-Арча», «Ананьево», «Арал», «Аркит», «Арслан-Боб», «Боом», «Баткен», «Дараут-Курган», «Бишкек», «Каджи-Сай», «Манас», «Пржевальск», «Ош» сети КРNET Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики (ИС НАН КР) [2]. КНЦД привлекал данные сейсмической группы «Залесово» (Российская Федерация) сети Международной системы мониторинга [1], а также некоторых трехкомпонентных сейсмических станций [3] сети КNET Научной станции РАН на территории Кыргызстана, поступивших в КНЦД в режиме реального времени.

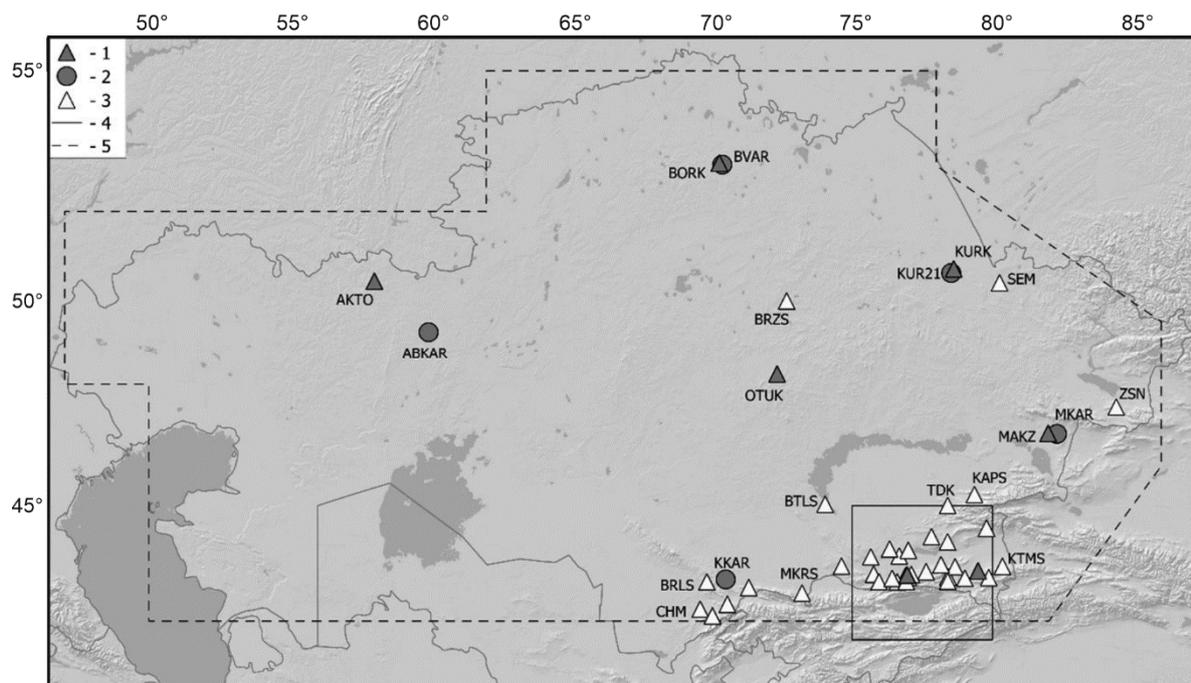


Рис. 1. Расположение сейсмических станций на территории Казахстана

1 – трехкомпонентные станции ИГИ; 2 – сейсмические группы ИГИ; 3 – трехкомпонентные станции СОМЭ; 4 – граница района Северного Тянь-Шаня; 5 – граница территории «Казахстан».

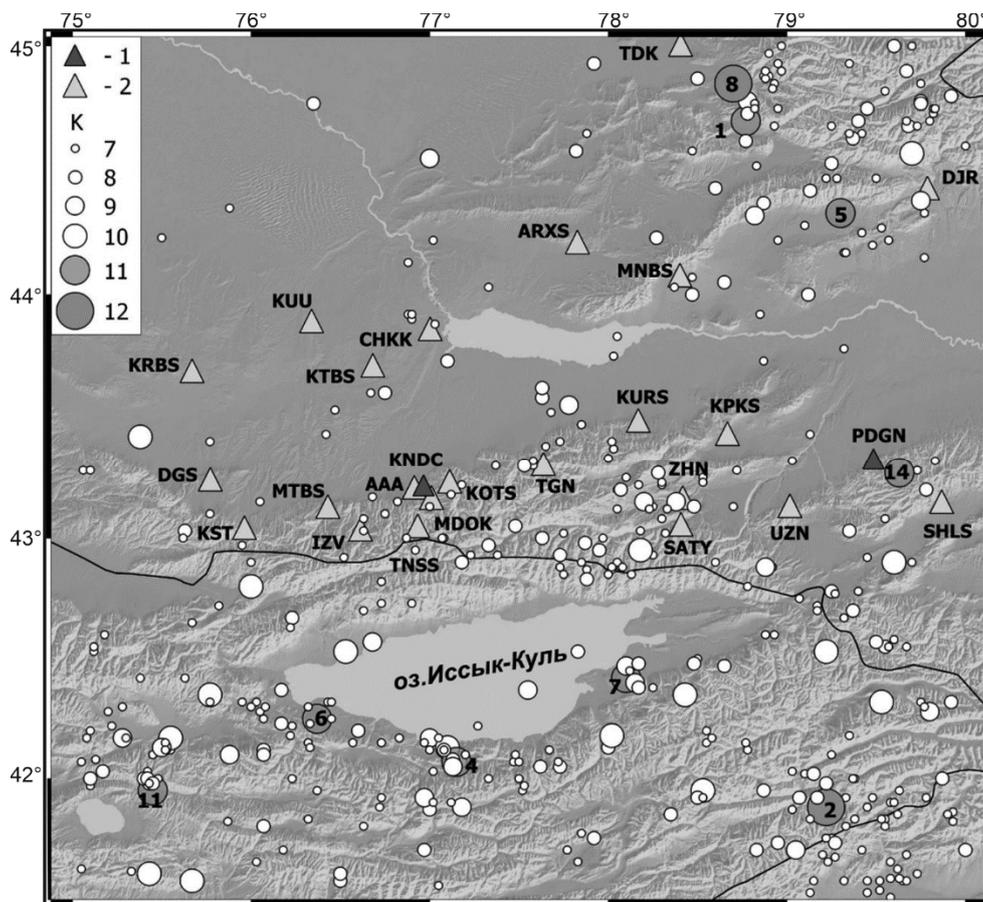


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня с $K_p \geq 6.6$ (кружки, размер которых пропорционален энергии; серым цветом выделены эпицентры землетрясений с $K_p \geq 10.6$, номер соответствует номеру в каталоге землетрясений [Прил.3]) и сейсмических станций (СОМЭ – светлый треугольник, ИГИ РК – темный)

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 ($K_{\min}=6.0$) [4]. Для всей территории Казахстана обеспечена представительная регистрация землетрясений с $K_{\min}=8.6$.

Методика определения основных параметров землетрясений в двух Центрах обработки остается постоянной в течение многих лет [4].

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

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 [9]. Для обработки данных используется глобальный годограф IASPEI-91 [10], а также региональный годограф для Центрального Казахстана, построенный по данным калибровочных химических и подземных ядерных взрывов, произведенных на территории Семипалатинского испытательного полигона [11]. Для обработки данных сильных движений используется программа ViewWave, разработанная Т. Кашима [12].

Автоматический и интерактивный бюллетени сейсмических событий оперативно выставляются на web-сайт КНЦД (www.kndc.kz) [13]. Спустя два-три месяца создается бюллетень с идентификацией природы событий – землетрясение, взрыв, неопределенная природа события.

В обеих организациях энергетические характеристики (K_p , $MPVA$, $MLV=MS$) рассчитывались по программам, использующим соответствующие калибровочные функции [14–16].

Методика определения механизмов очагов землетрясений. Механизмы очагов в Казахстане определяются с 1969 г. по стандартной методике А.В. Введенской [17]. С 2000 г. все построения ведутся машинным способом. Для этих целей в СОМЭ и ИГИ используется программа определения механизмов очагов Масаки Накамура [18]. При этом для определения механизма очага совместно используются знаки первых вступлений P -волн на станциях СОМЭ и ИГИ, а также знаки первых вступлений P -волн по станциям Кыргызстана.

Каталог землетрясений и карта эпицентров. Каталог землетрясений за 2020 г., публикуемый в настоящем выпуске журнала [Прил. 3], включает 503 землетрясения в диапазоне энергетических классов $K_p=6.6–12.1$. Файл *Электронного приложения* содержит помимо указанного каталога несколько дополнительных приложений: каталог параметров механизмов очагов, включающий механизмы очагов 14 землетрясений по региональным данным [Прил. 4], сведения об интенсивности сотрясений от одиннадцати ощутимых землетрясений в десяти населенных пунктах [Прил. 5, 6], а также информацию о двух сетях сейсмических станций [Прил. 1, 2].

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, относительно небольшое количество землетрясений зарегистрировано на территории восточного Казахстана, а также в районах интенсивной добычи полезных ископаемых – Тенгизского нефтяного месторождения, Жезказганского меднорудного месторождения. Отметим, что в целом 2020 г. выдался относительно спокойным в сейсмическом отношении, не произошло сильных землетрясений, сопровождавшихся какими-либо повреждениями и разрушениями.

Каталог механизмов очагов. Для 14 землетрясений определены механизмы очагов [Прил. 4]. На рис. 4 показаны диаграммы всех определенных механизмов очагов на фоне карты разломов [19, 20]. Все землетрясения относятся к диапазону энергетических классов от 9.6 до 12.1.

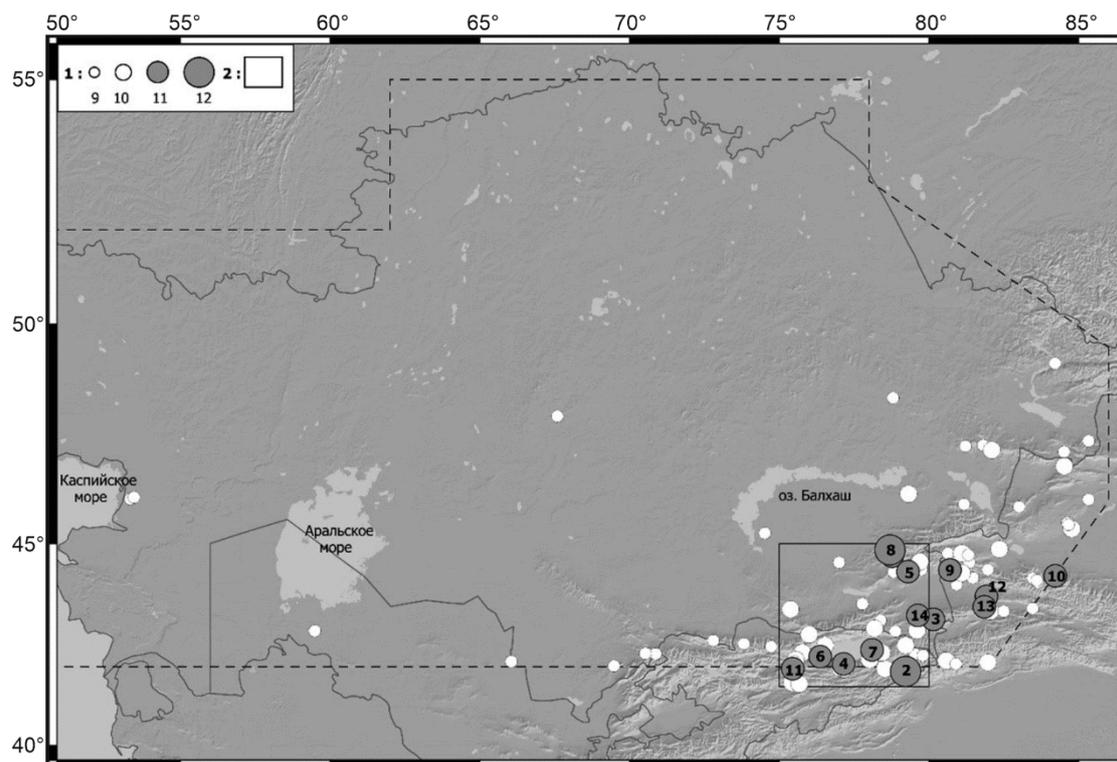


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Казахстана с $K_p \geq 8.6$

Кружки – эпицентры землетрясений (размер пропорционален энергии). Серым цветом выделены эпицентры землетрясений с $K_p \geq 10.6$, которые пронумерованы в соответствии с графой 2 каталога землетрясений Казахстана [Прил. 3]. Прямоугольник – граница района «Северный Тянь-Шань».

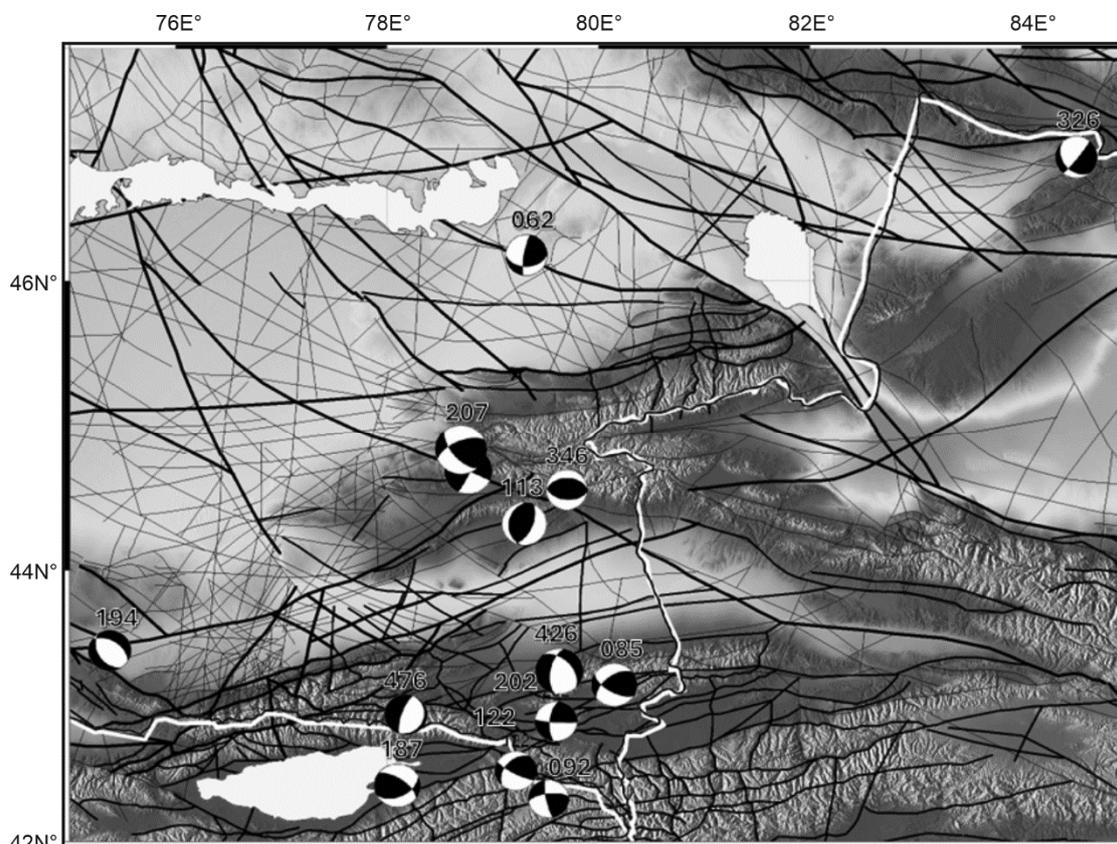


Рис. 4. Диаграммы механизмов очагов землетрясений 2020 г. с $K_p \geq 9.6$ согласно [Прил. 4]

Все построения в нижней полусфере. Номер соответствует номеру землетрясения в каталоге землетрясений [Прил. 3].

Наибольшее количество определений механизмов очагов традиционно относится к землетрясениям восточной части территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии. Десять из 14 землетрясений с определенными механизмами очагов расположились вдоль меридиана $\lambda=79^\circ\text{E}\pm 1^\circ$. Этот район достаточно хорошо изучен с точки зрения напряженно-деформированного состояния [21]. Параметры механизмов очагов отчетного периода подтверждают сделанные ранее выводы о системе действующих напряжений и преобладании близмеридионального близгоризонтального сжатия [21]. Большая часть событий имеет взбросовый и сдвиговый характер подвижки. Для более северных районов Восточного Казахстана направление осей напряжений сжатия меняется от меридионального на северо-западное, как описано в работе [22], типичное для регионов Центральной Азии.

Сейсмичность Казахстана. На западе, востоке, а также в центральной части Казахстана были зарегистрированы землетрясения с $K_p \geq 8.6$ (рис. 3). Эти землетрясения имеют различную природу. Среди них есть тектонические природные события и техногенные землетрясения, связанные с разработкой полезных ископаемых. На западе территории Казахстана, в Прикаспии, сеть станций НЯЦ РК зарегистрировано три землетрясения. Все они связаны с разработкой нефтегазового месторождения Тенгиз. Диапазон энергии этих событий составляет $K_p=8.6-9.3$, $MPVA=3.0-3.8$. В центральной части Казахстана зарегистрировано два события, которые идентифицированы как обрушения целиков в отработанных шахтах на меднорудном месторождении Жезказган. Эти события произошли 22 января 2020 г. с разницей в 5 минут и энергетическими классами $K_p=8.5$ и 9.2 . Аналогичные парные события такой же природы были зарегистрированы 19–20.06.2018 г. с $K_p=9.0-9.6$ [23].

Большинство природных землетрясений произошло на юго-востоке исследуемой территории в пределах Северного Тянь-Шаня и Джунгарии. Среди них только одно событие, которое произошло в Джунгарии 6 июня в $00^{\text{h}}10^{\text{m}}$ (№ 8 [Прил. 3]), имело энергию, превышающую по энергетическому классу $K_p=12$. Эпицентр этого землетрясения ($K_p=12.1$, $MPVA=5.6$) находится на западном окончании хребта Джунгарского Алатау в южной части зоны субширотного Карабулакского разлома второго порядка (запад–северо-западного простирания), почти на пересечении с разломом северо-восточного простирания также второго порядка. Рядом, в 15 км с юго-восточной стороны, проходит региональный Южно-Джунгарский разлом северо-западного простирания. Землетрясение ощущалось в ряде населенных пунктов на территории Казахстана, наибольшая интенсивность отмечена в городах Талдыкоргане, Текели и Карабулаке, где интенсивность составила 4 балла по шкале MSK-64. Диаграмма механизма очага этого землетрясения показана на рис. 4, 5 (№ 207 в Прил. 3, 4). Тип подвижки в очаге – взбросо-сдвиг. 20 января 2020 г. в $05^{\text{h}}31^{\text{m}}$ в этом же районе произошло еще одно землетрясение с $K_p=11.2$ и $MPVA=5.0$.

Вообще говоря, это очень интересное место в Джунгарии, отличающееся высокой сейсмической активностью сильных землетрясений в последние двадцать лет. В 1993 и 2009 гг. здесь на небольшой территории произошли два землетрясения с примерно равной магнитудой $m_b=6.3$ и 6.4 , вызвавших значительные повреждения в г. Текели. Они были детально изучены и описаны в работе [24]. Были построены модели очага, установлены наиболее вероятные плоскости подвижек и закономерности проявления афтершоков. Было отмечено практически полное подобие очагов и развития процесса разрывообразования. Механизмы очагов этих двух землетрясений приведены на рис. 5. Первая нодальная плоскость, ориентированная в северо-восточном направлении, круто падает на юго-восток. Вторая плоскость близвертикальная, она имеет северо-западное простирание, согласующееся с простиранием Южно-Джунгарского разлома. Подвижка по первой плоскости представляет собой левосторонний сдвиг, по второй – взбросо-сдвиг, с преобладанием правосторонней сдвиговой компоненты. Ориентация снимаемых в очаге напряжений свидетельствует, что разрыв произошел под действием близгоризонтального субмеридионального напряжения сжатия. Два Текелийских землетрясения настолько похожи по всем параметрам, что могут считаться двумя эпизодами одного процесса, происходящего по единому сценарию. Второе землетрясение продолжило начатые первым разрушения в блоке земной коры, развивая на юго-восток релаксационные процессы в одном и том же напряженном объеме за счет последующих толчков. Механизм очага землетрясения 20 января 2020 г. в $05^{\text{h}}31^{\text{m}}$ практически идентичен механизмам Текелийских землетрясений, что свидетельствует о не изменившейся за двадцать последних лет системе действующих напряжений. Близок к ним и механизм землетрясения 6 июня 2020 г. в $00^{\text{h}}10^{\text{m}}$.

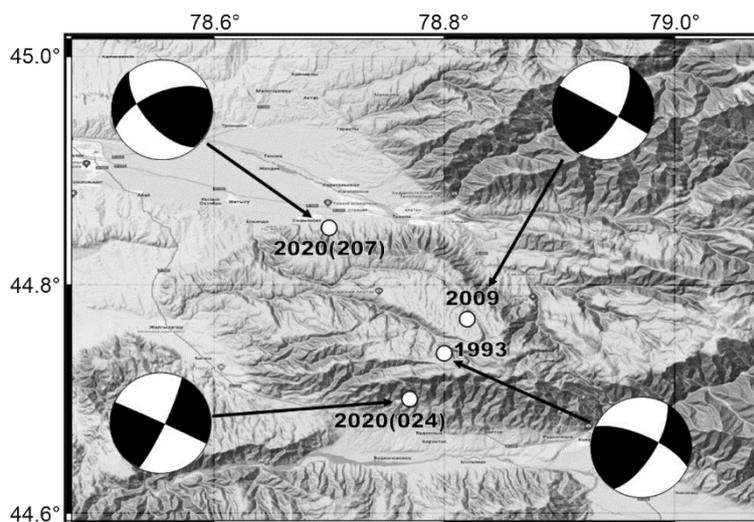


Рис. 5. Диаграммы механизмов очагов сильных землетрясений в Джунгарском Алатау в 1993 г., 2009 г., 2020 г. (два события). Все построения в нижней полусфере

Сейсмический режим района «Северный Тянь-Шань». На территории района, условно называемого «Северный Тянь-Шань», в рамке с координатами $\varphi=41.50^{\circ}-45.00^{\circ}\text{N}$ и $\lambda=75.00^{\circ}-80.00^{\circ}\text{E}$ в 2020 г. произошло 429 землетрясений с $K_p \geq 6.6$. Их эпицентры показаны на рис. 2. Распределение количества землетрясений по энергетическим классам и суммарная выделившаяся сейсмическая энергия приведены в табл. 1. Суммарная выделившаяся энергия в 2020 г. практически такая же, как и в 2018 г., и несколько выше, чем в 2019 году.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам и суммарная высвобожденная сейсмическая энергия ΣE на территории Северного Тянь-Шаня

K_p	7	8	9	10	11	12	$\Sigma E, \text{Дж}$
$N(K_p)$	295	88	21	16	7	2	$2.835 \cdot 10^{12}$

На рис. 6 представлен график повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2020 год. Для сравнения на этом же рисунке показано количество землетрясений разных классов за 2018 и 2019 гг. Видно, что в целом сейсмический режим трех лет близок. Отметим, что заметно некоторое превышение в 2020 г. количества событий с энергетическими классами 10 и 11. Параметры сейсмического режима в 2020 г.: $A_{10}=0.11$, $\gamma=-0.46$. Проведено сравнение параметров сейсмического режима с долговременными средними значениями, опубликованными в работе Сыдыкова А.С. [25] и рассчитанными по данным за период 1951–1995 гг. Средние значения составляют: $A_{10}=0.09$, $\gamma=-0.46$. Можно утверждать, что режим 2020 г. близок к долговременному среднему.

Два наиболее сильных землетрясения на территории Северного Тянь-Шаня в 2020 г. – это описанное выше землетрясение 6 июня с $K_p=12.1$ в Джунгарском Алатау и землетрясение 15 февраля с $K_p=11.7$. Эпицентр землетрясения 15 февраля находился на территории Кыргызстана вблизи границы с Китаем, в гористой части хребта Кокшаал-Тоо северо-восточного простирания, в районе пересечения разломов первого порядка северо-восточного и меридионального направлений.

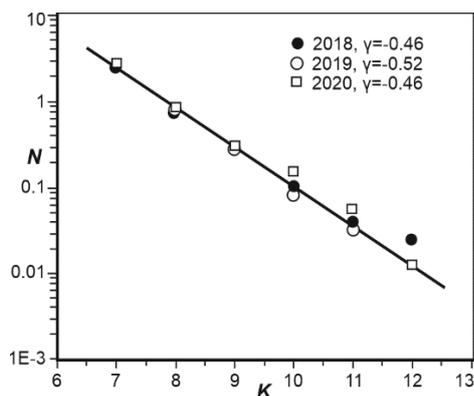


Рис. 6. График повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2020 г.

Параметры сильных движений по станциям ИГИ НЯЦ РК. На территории Казахстана имеется несколько акселерометров сильных движений сети ИГИ НЯЦ РК. Информацию об этих станциях и параметрах аппаратуры на них можно найти на веб-сайте www.kndc.kz. Иногда для анализа привлекались данные велосиграфов стационарных станций, которые предварительно дифференцировались для расчета параметров ускорений и спектров реакции.

Вся обработка данных сильных движений проводилась с помощью программного обеспечения Kashima T. ViewWave [12]. При этом для каждой компоненты записи рассчитывались максимальные амплитуды ускорений колебаний, соответствующие им периоды, максимальные амплитуды скорости колебаний и соответствующие им периоды. Кроме того, рассчитывались спектры Фурье и спектры реакции для затухания $\zeta=5\%$. Сводная таблица параметров записей сильных движений приведена в табл. 2.

Таблица 2. Параметры записей сильных движений землетрясений 2020 г. по станциям ИГИ НЯЦ РК

№	ID [3]	Станция	Δ , км	A , см/с ²			V , см/с			$T(A)$, с	$T(V)$, с
				E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
1	KZ20200024	KNDC	219	-0.3	0.3	0.2	0.01	-0.01	0.01	-	0.2
		PDGK	163	-0.2	-0.2	-0.2	-0.01	0.01	0.00	-	0.5
2	KZ20200059	KNDC	237	0.2	0.2	0.2	-0.01	-0.01	0.0	-	0.3
		PDGK	162	0.2	0.2	-0.2	0.02	-0.02	0.01	-	0.6
		KASK	258	0.3	-0.2	-0.1	0.02	0.02	0.01	-	1.2
3	KZ20200085	PDGK	57	-1.2	-2.0	-0.8	0.03	0.04	-0.02	0.05	0.08
4	KZ20200096	KNDC	128	1.1	-0.9	1.0	-0.04	-0.03	-0.02	-	0.2
		KASK	134	0.1	0.7	1.0	0.03	0.02	0.01	-	4
5	KZ20200139	KNDC	137	0.5	-0.4	0.4	-0.02	-0.01	-0.01	0.02	0.15
6	KZ20200150	KNDC	118	1.0	-0.9	-0.7	0.03	-0.03	0.03	0.04	0.2
7	KZ20200187	KNDC	128	0.2	-0.1	0.1	0.01	0.00	0.00	0.005	0.35
8	KZ20200194	KNDC	130	-0.2	0.1	0.2	-0.01	0.00	0.00	0.006	0.15
		KASK	104	-	-0.3	0.5	-	-0.01	-0.01	0.01	0.2
9	KZ20200200	KNDC	91	0.2	-0.3	0.3	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.2
		KASK	70	-	2.1	-0.8	-	0.05	-0.01	0.05	0.15
10	KZ20200202	PDGK	48	-0.2	0.1	-0.1	0.1	0.00	0.00	0.004	0.25
11	KZ20200207	KNDC	228	1.5	0.9	0.6	-0.06	-0.04	0.02	0.04	0.3
		MK31	352	-0.1	-0.1	-0.1	-0.01	0.01	0.00	0.03	0.8
		PDGK	180	0.6	-0.6	-0.3	-0.02	-0.03	0.01	0.02	0.25
		KASK	245	-	1.0	-0.4	-	-0.06	0.02	0.03	0.3
12	KZ20200210	PDGK	206	0.1	0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.003	0.1
		MK31	243	0.1	0.0	-0.1	0.00	0.00	0.0	0.0015	0.15
13	KZ20200309	KNDC	59	-0.1	0.1	-0.1	0.00	0.00	0.00	0.004	0.15
14	KZ20200421	KNDC	144	-0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.008	0.15
15	KZ20200426	PDGK	13	-3.8	-2.0	2.0	0.12	0.13	-0.08	0.09	0.4
		KNDC	216	-0.3	-0.3	-0.2	-0.01	0.01	-0.01	0.008	0.35
		KASK	242	0.2	-0.3	-0.2	0.01	0.01	0.00	0.01	0.2
16	KZ20200475	KNDC	84	0.1	0.1	-0.1	-0.01	0.00	0.00	0.004	0.35
17	KZ20200476	PDGK	114	-0.1	-0.1	-0.1	0.00	0.00	0.00	0.002	0.4

Всего за 2020 г. приборами сильных движений зарегистрировано 17 землетрясений. Больше всего записей получено по станции KNDC, установленной на территории Центра данных в г. Алматы, и станции Подгорное (PDGK) на Северном Тянь-Шане. Максимальное ускорение с амплитудой 3.8 см/с² получено при землетрясении 6 ноября в 14^h29^m с $K_p=11.3$ на станции Подгорное (PDGK). Станция находилась в 13 км от эпицентра землетрясения. В ближайших к станции поселках Кегень, Шалкоде, Узун-Булак землетрясение ощущалось с интенсивностью 3–4 балла. На рис. 7 представлены спектры реакции по станции PDGK, рассчитанные по трем компонентам записей акселерометра.

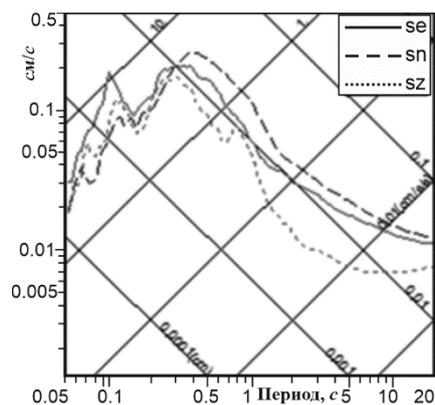


Рис. 7. Спектры реакции землетрясения 6 ноября 2020 г. в 14^h29^m по станции Подгорное (PDGK), три компоненты

Взрывы на территории Казахстана. Важнейшей частью работ по составлению каталогов землетрясений является выявление из числа всех зарегистрированных и обработанных событий взрывов, произведенных в карьерах, шахтах, при строительстве дорог, а также аварийных взрывов разной природы. В этом смысле Казахстан, страна, богатая полезными ископаемыми и активно их разрабатывающая, является одной из стран с самым большим количеством произведенных взрывов относительно количества произошедших землетрясений.

В 2020 г. на территории Казахстана сетью станций ИГИ НЯЦ РК было зарегистрировано 4416 промышленных, в основном карьерных, взрывов (рис. 8). Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в результате производства промышленных взрывов, составила $\Sigma E = 3.5 \cdot 10^{10}$ Дж (табл. 3). Самые мощные по энергии ($K_p > 8$) взрывы производились в 2020 г. на угольном разрезе «Молодежный» (рис. 8).

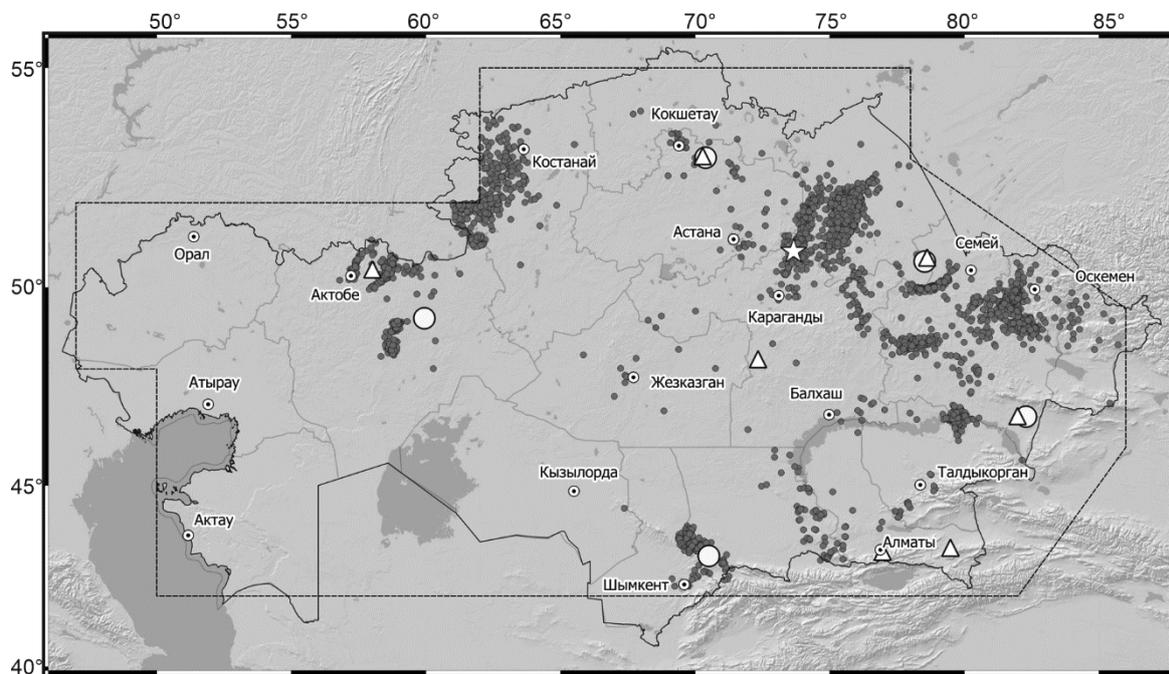


Рис. 8. Карта эпицентров карьерных взрывов, произведенных на территории Казахстана в 2020 г.

Белые кружки – сейсмические группы, белые треугольники – трехкомпонентные станции, серые кружки – эпицентры взрывов, звезда – местоположение угольного карьера Молодежный.

Таблица 3. Распределение числа взрывов по энергетическим классам и суммарная высвобожденная сейсмическая энергия ΣE по всем взрывам

K_p	3	4	5	6	7	8	9	ΣE , Дж
$N(K_p)$	61	361	657	1804	1304	172	8	$3.5 \cdot 10^{10}$

На рис. 9 и 10 представлены распределения числа взрывов по энергетическим классам и магнитуде по объемным волнам $MPVA$. Видно, что максимум распределений относится к взрывам с $K_p = 6.5$ и $MPVA = 2.2-2.3$. Лишь отдельные взрывы по энергии превышают $K_p = 9$.

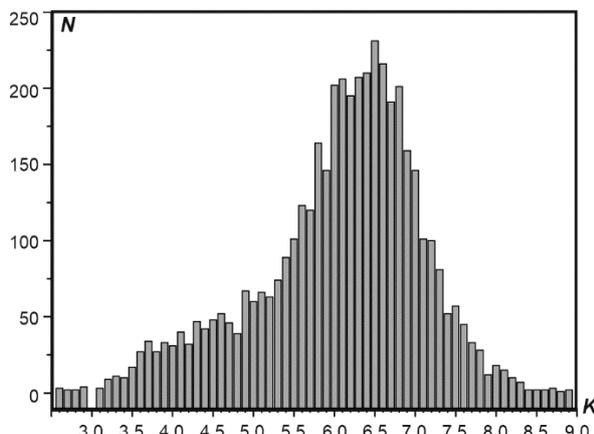


Рис. 9. Распределение количества взрывов по энергетическим классам K_p

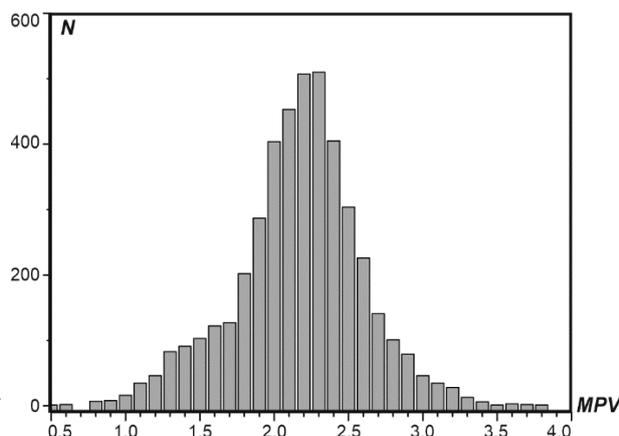


Рис. 10. Распределение количества взрывов по магнитудам $MPVA$

Для того, чтобы распознать взрывы и землетрясения, применяется ряд приемов и методик. Самыми главными дискриминантами являются, безусловно, близость эпицентра к известному карьеру, нулевая глубина, специфическое время взрывов, производимых в рабочее время в определенные часы, а также характерная форма волновой записи на конкретной станции от конкретного карьера. В ряде случаев хорошим признаком для распознавания является наличие сигнала от взрыва на записях инфразвуковой станции. Иногда инфразвуковую волну можно выделить и на сейсмических записях. Описание методики распознавания взрывов и землетрясений по комплексу сейсмических и инфразвуковых записей приведено в работе [26].

На рис. 11, 12 и 13 представлены записи некоторых сильных взрывов 2020 г. станциями Казахстана. Видно, что записи очень различаются не только для разных взрывов, но и для одного взрыва по разным станциям. Очень важно иметь волновые формы эталонных взрывов, параметры которых точно известны по независимым от сейсмических данным и которые в дальнейшем могут быть использованы для распознавания как мастер-события на основе корреляционных методов. В КНЦД идет планомерный сбор таких данных для отработки методики и повышения эффективности распознавания [26].

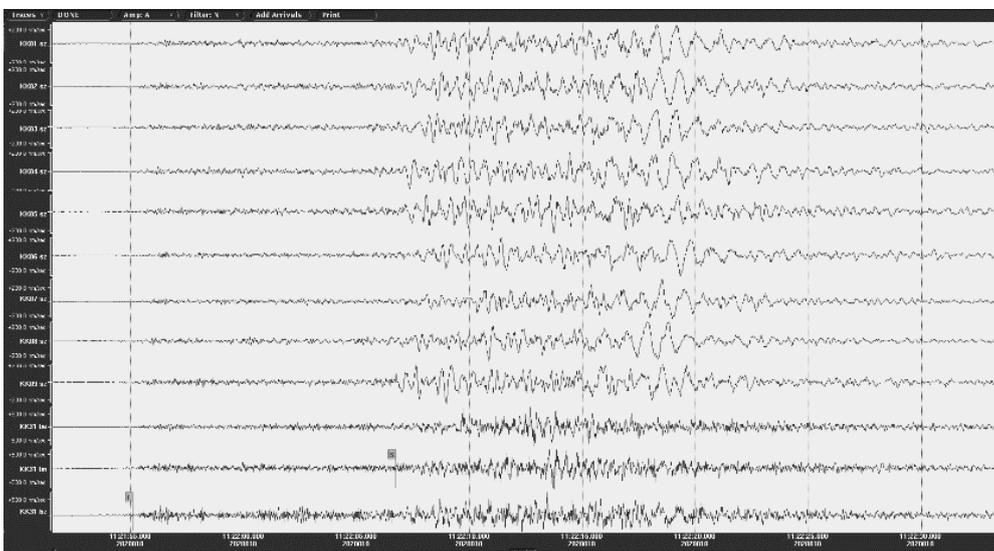


Рис. 11. Записи взрыва 10 января 2020 г., $MPVA=3.1$, $K_p=7.7$ в карьере Коксу в Южном Казахстане (Джамбулская обл.) сейсмической группой Каратау (элементы группы КК01–КК31) на эпицентральных расстояниях 88 км

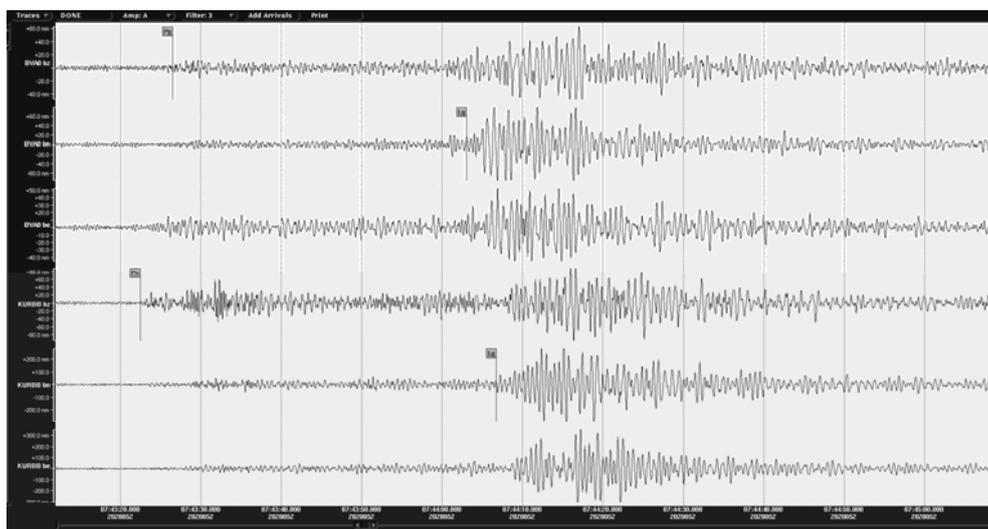


Рис. 12. Записи взрыва в угольном разрезе Молодежный (Карагандинская обл.) на центральных пунктах сейсмических групп Боровое (BVAO) и Курчатов-Крест (KURBB). Эпицентральные расстояния 329–345 км

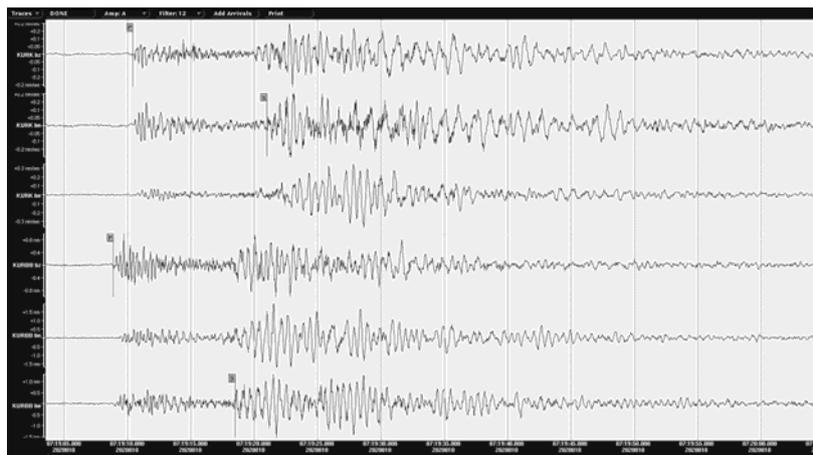


Рис. 13. Запись взрыва 10.01.2020 г., $MPVA=2.3$, $K_p=6.6$ в карьере Каражыра в Восточном Казахстане (Абайская обл.) сейсмическими станциями Курчатова (KURK) и центральным элементом группы Курчатова-Крест (KURBB). Эпицентральные расстояния 68–77 км

Заключение. Сейсмический режим большей части территории Казахстана в 2020 г. характеризовался умеренной сейсмической активностью, параметры режима близки к своим долгосрочным средним значениям. Самое сильное землетрясение в зоне ответственности в 2020 г. произошло на территории Джунгарии 6 июня в 00^h10^m с $K_p=12.1$, $MPVA=5.6$. Интенсивность сотрясений в ближайших населенных пунктах не превышала 4 баллов.

Несколько техногенных землетрясений зарегистрировано в ранее традиционно считавшихся асейсмичными районах в местах добычи твердых и жидких полезных ископаемых, расположенных в Западном и Центральном Казахстане.

В 2020 г. зарегистрировано и идентифицировано более 4000 карьерных взрывов в разных областях Казахстана. Среди них наиболее сильные достигали сейсмической энергии $E=10^9$ Дж.

Службой сильных движений зарегистрировано 17 землетрясений. Самое высокое значение ускорений отмечено при землетрясении 6 ноября 2020 г. в 14^h29^m с $K_p=11.3$, $MPVA=5.0$ на станции Подгорное (PDGK), расположенной на расстоянии 13 км от эпицентра. Амплитуда ускорений на горизонтальной компоненте составила 3.8 см/с^2 , интенсивность сотрясений в ближайших населенных пунктах ($\Delta=43\text{--}52$ км) – 3–4 балла (MSK-64).

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Жунусова А.Ж., Мукамбаев А.С., Бектурганова Б.Б., Бостанова Н.Ш., Досымбекова Ж.Б., Досайбекова С.К., Далбаева Ж.А., Казаков Д.В., Комекбаев Д.К., Лукаш Н.А., Полешко Н.Н., Пойгина С.Г., Рябенко О.В., Сейнасинов Н.А., Узбеков Р.Б., Утешова Р.З.

Электронное приложение App05c_Kazakhstan_2020 (<http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>): 1 – Сейсмические станции Сейсмологической опытно-методической экспедиции Министерства образования и науки Республики Казахстан в 2020 г.; 2 – Сейсмические группы и станции Республиканского государственного предприятия «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан в 2020 г.; 3 – Каталог землетрясений Казахстана за 2020 г.; 4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2020 г.; 5 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Казахстана в 2020 г.; 6 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Казахстана за 2020 год.

Л и т е р а т у р а

1. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Приложение 1. – Вена, 2009. – 153 с.
2. 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.ceme.gsras.ru/zse/app-26.html>
3. Vernon F. Kyrgyzstan seismic telemetry network // IRIS Newslett. – 1992. – V. 11, N 1. – P. 7–9.
4. Неверова Н.П., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Казахстан // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 119–131.
5. 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.

6. Droznin 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>
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. ТОО «СОМЭ». (2024). [Веб-сайт]. – URL: <http://some.kz>
9. Михайлова Н.Н., Синева З.И. Обработка данных сейсмических станций НЯЦ РК // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2 (10). – С. 64–68.
10. Borman P. *New Manual of Seismological Observatory Practice*. – Potsdam: GeoForschungsZentrum, 2002. – V. 1. – P. 16–50.
11. 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.
12. Kashima T. *ViewWave Help*. – 2002. – ISEE, BRL.
13. Казахстанский национальный центр данных. (2024). [Веб-сайт]. – URL: <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
14. 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.
15. 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.
16. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
17. Введенская А.В. Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. – М.: Наука, 1969. – С. 47–66.
18. 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.
19. Суворов А.И. Глубинные разломы платформ и геосинклиналей. – М.: Недра, 1973. – 216 с.
20. Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Аристова И.Л. Сеймотектоническая обстановка в районе расположения реактора ВВР-К Института ядерной физики // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 4. – С. 120–126.
21. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Восточного Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – С. 142–146.
22. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Сейсмичность и характер напряженно-деформированного состояния в слабосейсмичных районах Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. – С. 140–153.
23. 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
24. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Текелийское землетрясение в Казахстане в 2009 году: очаг и воздействия // *Вопросы инженерной сейсмологии*. – 2010. – Т. 37, № 2. – С. 20–33.
25. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. – Алматы: «Гылым», 2004. – 270 с.
26. Смирнов А.А., Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. Методика распознавания сейсмических событий по комплексу инфразвуковых и сейсмических данных // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 2. – С. 105–110.

SEISMICITY of KAZAKHSTAN and ADJACENT TERRITORIES in 2020

N.N. Mikhailova¹, A.S. Mukambayev¹, A.Zh. Zhunusova²

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

²*State Enterprise “Seismological Experience-Methodical Expedition” of the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, aijan.jun@mail.ru*

Abstract. In 2020, the seismic monitoring in Kazakhstan was conducted by two organizations: State Enterprise “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 Republican State Enterprise “National Nuclear Centre” 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 503 earthquakes with energy classes $K_R=6.6-12.1$. The strongest earthquake within the considered territory occurred on June 6, 2020, $K_R=12.1$, $MPVA=5.6$, $MS=4.4$. Its epicenter was located within Dzhungar Alatau ridge, 36 km south-eastward of Taldykorgan town. The earthquake was felt in Taldykorgan with intensity 4 by MSK-64 scale. On so-called "Northern Tien Shan" territory, 429 earthquakes with energy classes more than 6.6 were recorded. The reoccurrence graphs were constructed, seismic mode parameters were calculated, focal mechanisms for earthquakes $K_R \geq 9$ and parameters of strong earthquakes records for 17 earthquakes were described. In 2020, seismic networks recorded 4416 mining explosions on the territory of Kazakhstan. Some induced earthquakes at the regions of liquid and solid mineral production were recorded.

Key words: catalogue, earthquake, seismic activity, Kazakhstan, aseismic region, induced earthquake, mining explosions.

For citation: Mikhailova, N.N., Mukambayev, A.S., & Zhunusova, A.Zh. (2024). [Seismicity of Kazakhstan and adjacent territories in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 114–126. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.10> EDN: FSUOOR

References

1. Comprehensive Test-Ban Treaty. (2009). Appendix 1. Vienna, Austria, 153 p.
2. 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> (In Russ.).
3. Vernon, F. (1992). Kyrgyzstan seismic telemetry network. *IRIS Newslett*, 11(1), 7–9.
4. 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.).
5. 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.).
6. Droznin, D., & Droznina, S. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47, 215–224. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
7. 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.).
8. Seismological Experience-Methodical Expedition. (2024). Retrieved from <http://some.kz>
9. 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.).
10. Bormann, P. (2002). New manual of seismological observatory practice. *Potsdam, Germany: GeoForschungsZentrum*, 1, 16–50.
11. 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.).
12. Kashima, T. (2002). ViewWave Help. IISEE, BRI.
13. Kazakhstan National Data Centre. (2024). Retrieved from <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
14. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspierimental'naia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
15. 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.).
16. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudeniia na seismicheskikh stantsiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudeniia 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.).

17. 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.).
18. 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.
19. Suvorov, A.I. (1973). *Glubinnye razlomy platform i geosinklinalei* [Deep faults in platforms and geosynclinals]. Moscow, Russia: Nedra Publ., 216 p. (In Russ.).
20. Mikhailova, N.N., Velikanov, A.E., & Aristova, I.L. (2015). [Seismic settings in the vicinity of VVR-K nuclear reactor of the Institute of Nuclear Physics]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 4, 120–126 (In Russ.).
21. Mikhailova, N.N., & Poleshko, N.N. (2005). [Earthquake sources mechanisms of Eastern Kazakhstan]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 2, 142–146. (In Russ.).
22. 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.).
23. 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
24. Mikhailova, N.N., & Poleshko, N.N. (2010). [Tekeli earthquake of 2009 in Kazakhstan: source and effects]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Seismic Instruments], 2(37), 20–33. (In Russ.).
25. Sydykov, A. (2004). *Seismicheskii rezhim territorii Kazakhstana* [Seismic regime of Kazakhstan territory]. Alma-Ata, Kazakhstan: Gylym Publ., 270 p. (In Russ.).
26. Smirnov, A.A., Mukambaev, A.S., & Mikhailova, N.N. (2020). [Technique for seismic events discrimination using infrasound and seismic data]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 2, 105–110. (In Russ.).