

УДК 550.348. (574)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАЗАХСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2021 году

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

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

²Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки Национального научного центра сейсмологических наблюдений и исследований МЧС РК,
г. Алматы, Казахстан, aijan.jun@mail.ru

Аннотация. В 2021 г. сейсмический мониторинг в Казахстане проводили две организации: Государственное учреждение «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Комитета науки Министерства образования 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 453 землетрясения с энергетическими классами $K_p=6.6-11.7$. Самое сильное землетрясение на рассматриваемой территории произошло 8 января 2021 г. с $K_p=11.7$, $MPVA=5.2$. Его эпицентр находился на территории Китая в высокогорной части Внутреннего Тянь-Шаня. На территории, условно называемой «Северный Тянь-Шань», зарегистрировано 361 землетрясение с энергетическим классом $K_p \geq 6.6$. Приводятся графики повторяемости и рассчитанные параметры сейсмического режима, описаны механизмы очагов для землетрясений с $K_p \geq 9$ и параметры записей сильных движений для 18 землетрясений. За 2021 г. на всей территории Казахстана сейсмическими сетями зарегистрировано 4535 карьерных и шахтных взрывов, а также несколько техногенных землетрясений в районах добычи жидких 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 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 118–128. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.10> EDN: JSCJHF

Введение. Сейсмические наблюдения на территории Казахстана в 2021 г. проводились Государственным учреждением «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» Комитета науки (далее – СОМЭ) Министерства образования и науки Республики Казахстан и филиалом «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Министерства энергетики Республики Казахстан (далее – ИГИ). Во время написания статьи СОМЭ была передана в подчинение Национального научного центра сейсмологических наблюдений и исследований МЧС РК. В статье приводится характеристика сейсмичности всей территории Казахстана и, более детально, района «Северный Тянь-Шань», ограниченного координатами $\varphi=41.50^\circ-45.00^\circ\text{N}$ и $\lambda=75.00^\circ-80.00^\circ\text{E}$ (рис. 1, 2).

Действующие сети станций. В составе сети СОМЭ в течение 2021 г. работали 33 трехкомпонентные цифровые сейсмические станции (рис. 1, [Приложение 1]). В состав сети ИГИ входили пять сейсмических групп: Акбулак (АВКАР), Боровое (BVAR), Каратау (ККАР), Курчатов-Крест (KUR), Маканчи (МКАР) и семь трехкомпонентных станций: «Актюбинск» (АКТО), «Бурабай» (BORK), «Курчатов» (KURK), «Подгорное» (PDGK), «Маканчи» (МАКЗ), «Ортау» (OTUK) и KNDC (рис. 1, 2, [Приложение 2]). Каждая организация имеет свои центры обработки данных, расположенные в г. Алматы. В ИГИ это Казахстанский национальный центр данных (КНЦД) 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 KNET Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики (ИС НАН КР) [2, 3]. КНЦД привлекал данные сейсмической группы «Залесово» (Российская Федерация) сети Международной системы мониторинга [1] и трехкомпонентной станции «Ала-Арча» сети KNET, поступающих в КНЦД в режиме реального времени.

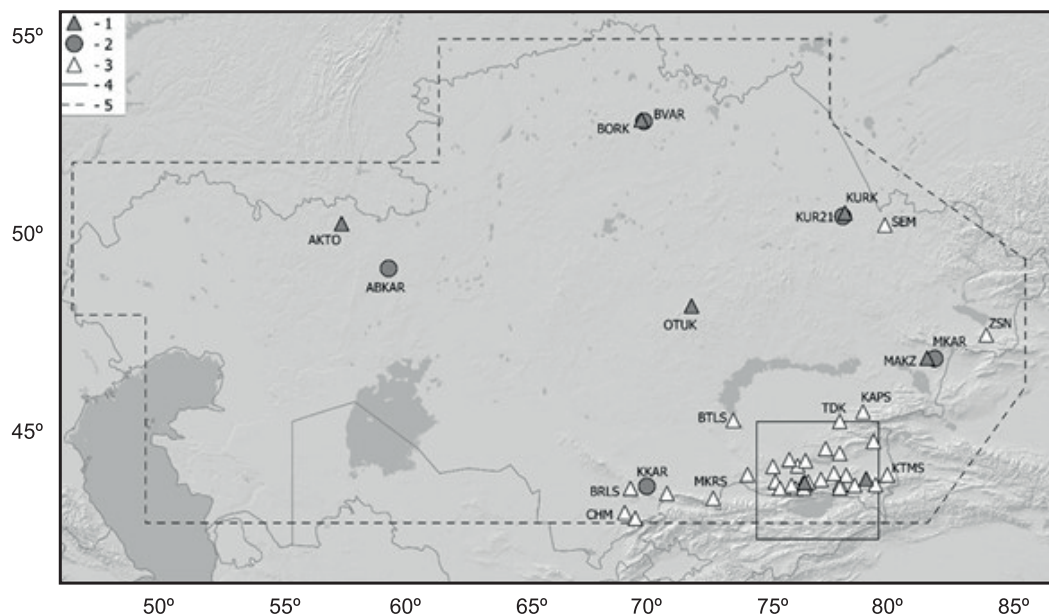


Рис. 1. Расположение сейсмических станций на территории Казахстана

1 – трехкомпонентные станции ИГИ; 2 – сейсмические группы ИГИ; 3 – трехкомпонентные станции СОМЭ; 4 – граница района «Северный Тянь-Шань»; 5 – граница субрегиона (территории) «Казахстан».

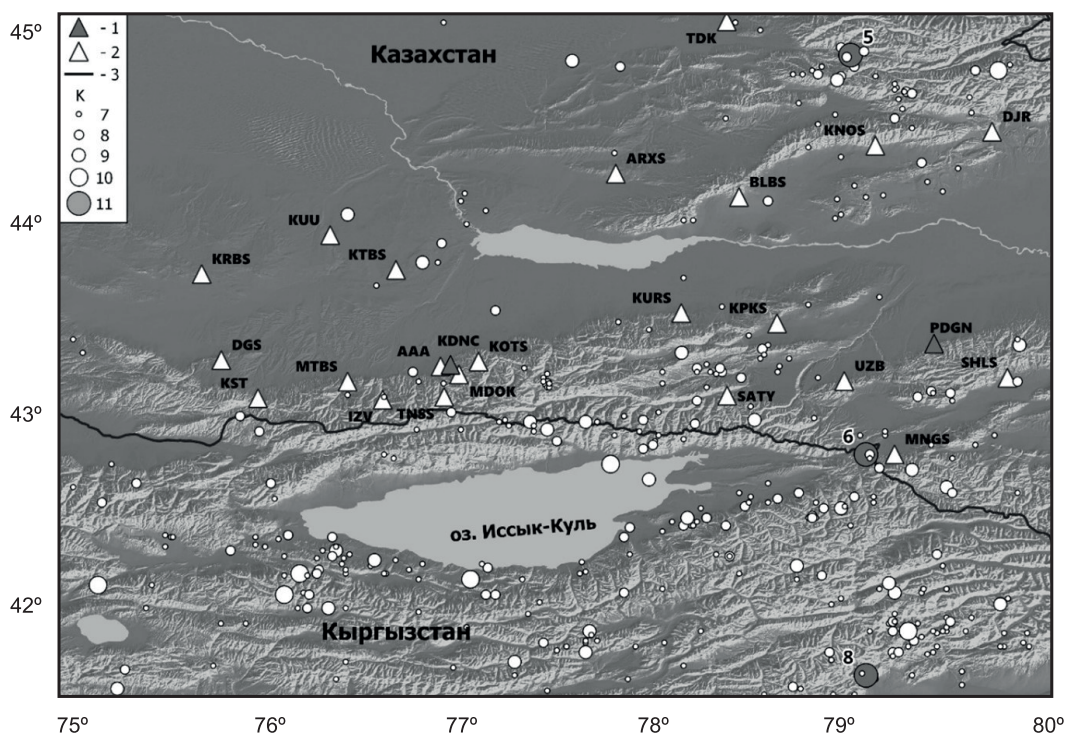


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня с $K_p \geq 6.6$ (кружки, размер которых пропорционален энергии; серым цветом выделены эпицентры землетрясений с $K_p \geq 10.6$, номер рядом соответствует номеру в каталоге землетрясений [Приложение 3]) и сейсмических станций 1 – трехкомпонентные станции ИГИ; 2 – трехкомпонентные станции СОМЭ; 3 – государственная граница.

Уровень представительной регистрации землетрясений на Северном Тянь-Шане остается неизменным с 2011 г. [4] и характеризуется представительным энергетическим классом $K_{\min} = 7.5$, только в центральной части хребтов Заилийский и Кунгей-Алатау обеспечен более низкий порог представительной регистрации ($K_{\min} = 6.0$). 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.

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

В КНЦД для обработки сейсмических цифровых данных применяется разработанная З. И. Сивевой 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 [8]. Для обработки данных используется глобальный годограф IASPEI-91 [9], а также региональный годограф для Центрального Казахстана, построенный по данным калибровочных химических и подземных ядерных взрывов, произведенных на территории Семипалатинского испытательного полигона [10]. Для обработки данных сильных движений используется программа ViewWave, разработанная Т. Кашимой [11].

Автоматический и интерактивный бюллетени сейсмических событий оперативно выставляются на веб-сайт КНЦД (www.kndc.kz) [12]. 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 [13–15].

Методика определения механизмов очагов землетрясений. Механизмы очагов в Казахстане определяются с 1969 г. по стандартной методике А. В. Введенской [16]. С 2000 г. все построения ведутся машинным способом. Для этих целей в СОМЭ и ИГИ используется программа определения механизмов очагов Масаки Накамуры [17]. 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 2021 г., публикуемый в настоящем выпуске журнала [Приложение 3], включает 453 землетрясения в диапазоне энергетических классов $K_p=6.6–11.7$. Файл *Электронного приложения* содержит помимо указанного каталога несколько дополнительных приложений: каталог параметров механизмов очагов, включающий механизмы очагов 13 землетрясений по региональным данным [Приложение 4], сведения об интенсивности сотрясений для 12 ощутимых землетрясений в 13 населенных пунктах [Приложение 5, 6], а также информацию о двух сетях сейсмических станций [Приложение 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 районам Северный Тянь-Шань и Джунгария, относительно небольшое количество землетрясений зарегистрировано на территории Восточного Казахстана, а также в районе интенсивной добычи полезных ископаемых – Тенгизского нефтяного месторождения. Отметим, что в целом 2021 г. выдался относительно спокойным в сейсмическом отношении, не произошло сильных землетрясений, сопровождавшихся какими-либо повреждениями и разрушениями зданий и построек.

Каталог механизмов очагов. Для 13 землетрясений определены механизмы очагов [Приложение 4]. На рис. 4 показаны диаграммы всех определенных механизмов очагов на фоне карты разломов [18, 19]. Все землетрясения относятся к диапазону энергетических классов от 9.2 до 11.4.

Наибольшее количество определенных механизмов очагов относится к землетрясениям восточной части территории Северного Тянь-Шаня (Джунгария и Борохоро). Этот район достаточно хорошо изучен с точки зрения напряженно-деформированного состояния [20]. Параметры механизмов очагов отчетливого периода подтверждают сделанные ранее выводы о системе действующих напряжений и преобладании близмеридионального близгоризонтального сжатия [20]. Для северных районов Восточного Казахстана направление осей напряжений сжатия меняется от меридионального на северо-западное, как описано в работе [21], типичное для регионов Центральной Азии.

Сейсмичность Казахстана. На западе и востоке 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, сетью станций НЯЦ РК зарегистрировано четыре землетрясения. Все они связаны с разработкой нефтегазового месторождения Тенгиз. Диапазон энергии этих событий составляет $K_p=8.7–9.4$, $MPVA=3.1–3.5$.

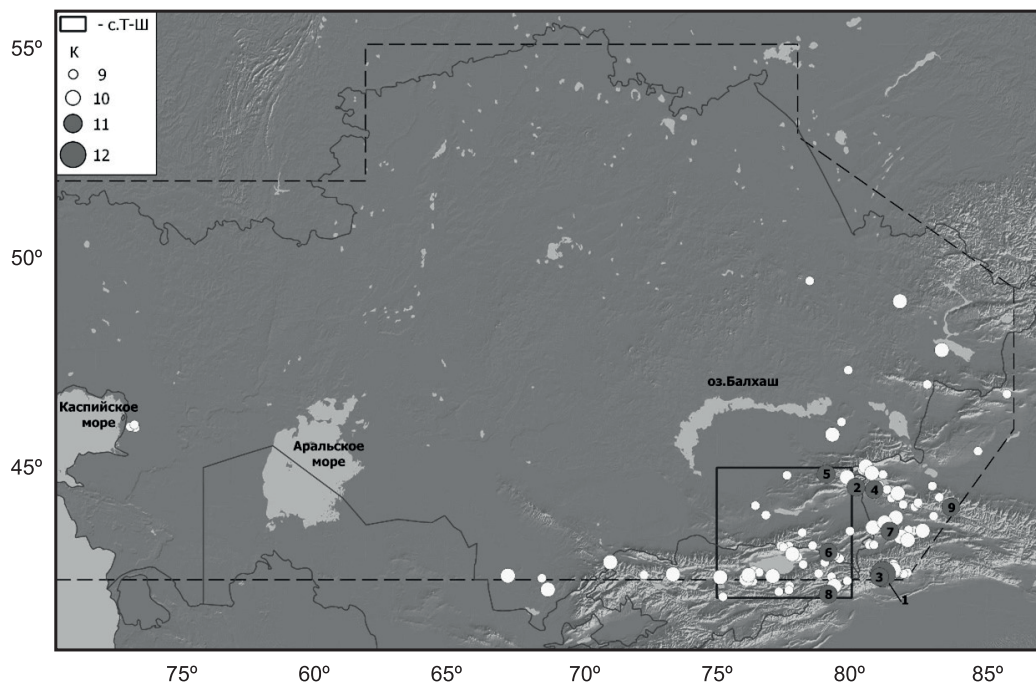


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Казахстана с $K_p \geq 8.6$

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 [Приложение 3]. Прямоугольник – граница района «Северный Тянь-Шань».

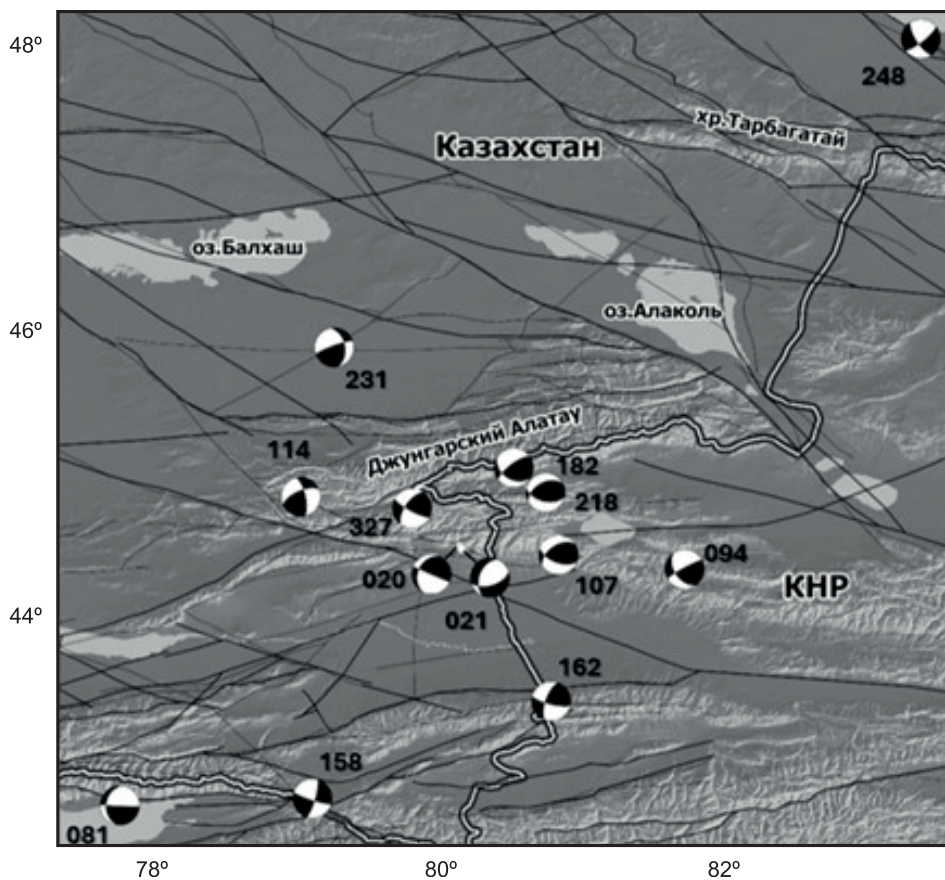


Рис. 4. Диаграммы механизмов очагов землетрясений 2021 г. с $K_p \geq 9.6$ согласно [Приложение 4]. Все построения в нижней полусфере. Номер соответствует последним трем цифрам ID землетрясения в каталоге [Приложение 3]

Большинство природных землетрясений произошло на юго-востоке исследуемой территории в пределах Северного Тянь-Шаня и Джунгарии. Только одно событие, которое произошло 8 января в 03^h48^m на территории Тянь-Шаня, в КНР (№ 1 [Приложение 3]), имело энергию, превышающую по энергетическому классу $K_p=11.5$ ($K_p=11.7$, $MPVA=5.2$). Эпицентр этого землетрясения находится на расстоянии 132 км на северо-восток от г. Аксу (КНР).

Сейсмический режим района «Северный Тянь-Шань». На территории района, условно называемого «Северный Тянь-Шань», в рамке с координатами $\varphi=41.50^\circ-45.00^\circ N$ и $\lambda=75.00^\circ-80.00^\circ E$, в 2021 г. произошло 361 землетрясение 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 2021 г. ниже, чем в 2018, 2019 и 2020 гг. [22, 23].

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	$\Sigma E, Дж$
$N(K_p)$	246	78	27	7	3	–	$4.692 \cdot 10^{11}$

На рис. 5 представлен график повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2021 г. Для сравнения на этом же рисунке показано количество землетрясений разных классов за 2020 и 2019 гг. Видно, что в целом сейсмический режим трех лет близок. Параметры сейсмического режима в 2021 г.: $A_{10}=0.10$, $\gamma=-0.52$. Проведено сравнение параметров сейсмического режима с долговременными средними значениями, опубликованными в работе Сыдыкова А. С. [24] и рассчитанными по данным за период 1951–1995 гг. Средние значения составляют: $A_{10}=0.09$, $\gamma=-0.46$. Можно утверждать, что режим 2021 г. близок к долговременному среднему.

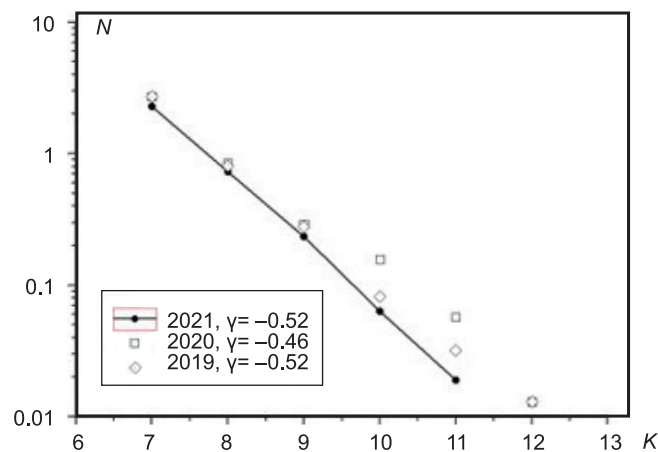


Рис. 5. График повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2021 г.

Три наиболее сильных землетрясения на территории Северного Тянь-Шаня в 2021 г. – это землетрясение 24 марта с $K_p=10.6$ в Джунгарском Алатау, землетрясение 6 мая с $K_p=11.4$ и 28 июля с $K_p=10.7$. Эпицентр землетрясения 6 мая находился на территории Кыргызстана вблизи границы с Казахстаном. Эпицентр землетрясения 28 июля находился на территории Китая в высокогорной части Внутреннего Тянь-Шаня.

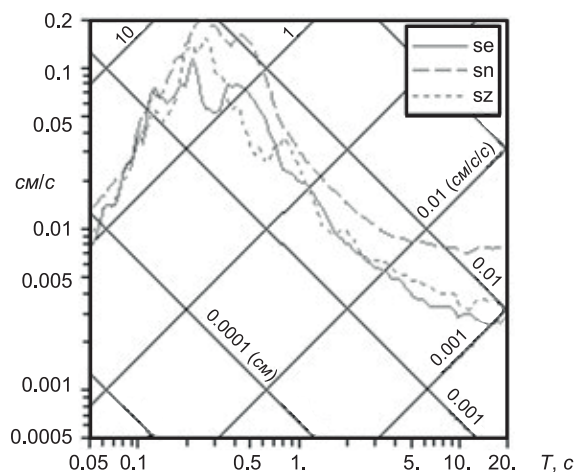
Параметры сильных движений по станциям ИГИ НЯЦ РК. На территории Казахстана имеется несколько акселерометров сильных движений сети ИГИ НЯЦ РК. Информацию об этих станциях и параметрах аппаратуры на них можно найти на веб-сайте www.kndc.kz. Иногда для анализа привлекались данные велосиграфов стационарных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

Вся обработка данных сильных движений проводилась с помощью программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [11]. 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 2021 г. станциями ИГИ НЯЦ РК

N	ID*	Станция	Δ , км	A , cm/c^2			V , cm/c			$T(V)$, с	$T(A)$, с
				E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
1	KZ20210001	KNDC	197	0.2	0.1	0.1	0.01	0.002	0.003	0.36	0.2
2	KZ20210010	PDGK	189	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.6	0.12
		KNDC	363	0.1	0.02	0.1	0.01	0.01	0.01	1	0.4
3	KZ20210020	PDGK	139	0.2	0.3	0.2	0.003	0.005	0.002	0.13	0.06
4	KZ20210037	PDGK	178	0.1	0.1	0.1	0.003	0.004	0.002	0.15	0.15
5	KZ20210054	PDGK	41	0.2	0.3	0.1	0.005	0.01	0.003	0.2	0.2
6	KZ20210094	PDGK	210	0.1	0.1	0.1	0.002	0.003	0.003	0.12	0.12
7	KZ20210096	KASK	129	0.8	0.7		0.04	0.02		0.28	0.28
		KNDC	124		0.2	0.1		0.01	0.005	0.17	0.17
8	KZ20210098	PDGK	188	0.2	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.34	0.21
9	KZ20210107	MK31	286	0.1	0.1	0.1	0.002	0.001	0.001	0.17	0.08
		PDGK	164	0.2	0.1	0.1	0.01	0.01	0.002	0.7	0.13
		MAKZ	171	0.05	0.06	0.05	0.002	0.004	0.003	0.38	0.24
10	KZ20210125	KK31	83	0.1	0.1	0.1	0.004	0.003	0.004	0.2	0.2
11	KZ20210158	PDGK	70	1.1	0.7	0.7	0.05	0.03	0.03	0.28	0.28
		KNDC	184	0.3	0.2	0.1	0.01	0.01	0.004	0.5	0.32
12	KZ20210162	PDGK	106	0.2	0.1	0.1	0.004	0.004	0.002	0.4	0.13
13	KZ20210170	PDGK	36	0.1	0.1	0.1	0.003	0.003	0.001	0.13	0.13
14	KZ20210189	PDGK	187	0.3	0.1	0.1	0.01	0.002	0.002	0.23	0.13
15	KZ20210191	PDGK	191	0.1	0.1	0.1	0.003	0.003	0.002	0.18	0.13
16	KZ20210239	PDGK	155	0.9	1.7	1.1	0.03	0.07	0.03	0.22	0.22
17	KZ20210248	MK31	155	0.1	0.1	0.1	0.003	0.004	0.002	0.24	0.24
18	KZ20210378	KNDC	55	0.2	0.3	0.1	0.01	0.01	0.001	0.3	0.11

Примечание. ID* – идентификаторы событий в каталоге [Приложение 3].



Всего за 2021 г. приборами сильных движений зарегистрировано 18 землетрясений. Больше всего записей получено на станции Подгорное (PDGK), установленной на Северном Тянь-Шане. Максимальное ускорение с амплитудой 1.7 cm/c^2 получено при землетрясении 2 июля в $01^{\text{h}}15^{\text{m}}$ с $K_p=11.2$ на станции Подгорное (PDGK) на компоненте N-S. Станция находилась в 155 км от эпицентра землетрясения. На рис. 6 представлены спектры реакции по станции PDGK, рассчитанные по трем компонентам записей акселерометра.

Рис. 6. Спектры реакции землетрясения 2 июля 2021 г. в $01^{\text{h}}15^{\text{m}}$ 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 2021 г. на территории Казахстана сетью станций ИГИ было зарегистрировано 4535 промышленных, в основном карьерных, взрывов (рис. 7). Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в результате производства промышленных взрывов, составила $\Sigma E=9.14 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ (табл. 3). Как и в прошлые годы, самые мощные по энергии ($K_p > 8$) взрывы производились в 2021 г. на угольном разрезе «Молодежный» (на рис. 7 отмечен звездочкой).

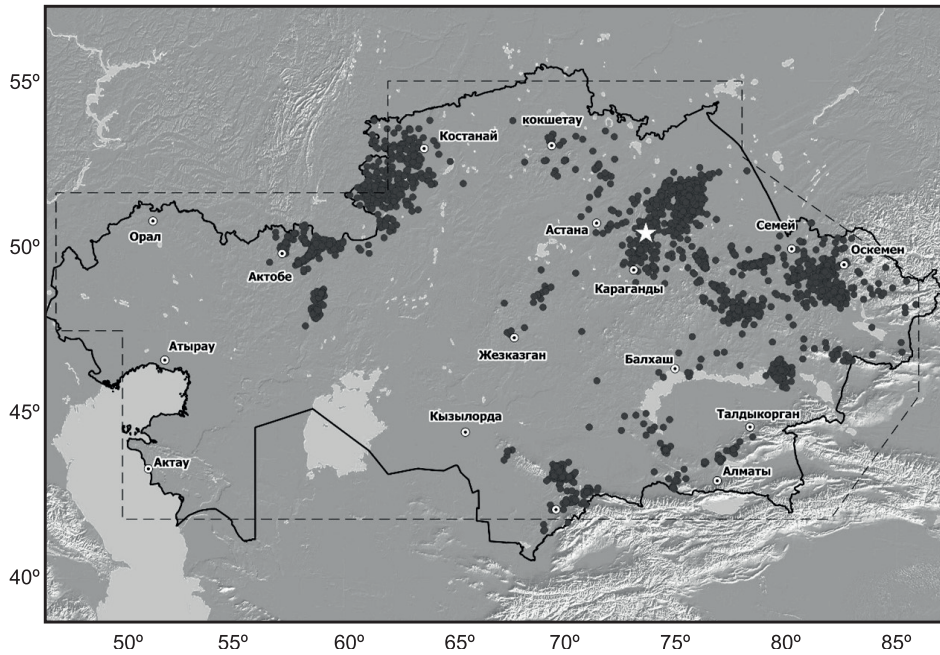


Рис. 7. Карта эпицентров карьерных взрывов, произведенных на территории Казахстана в 2021 г. Кружки – эпицентры взрывов, звезда – местоположение угольного карьера Молодежный.

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	$\Sigma E, Дж$
$N(K_p)$	79	413	764	1837	1267	135	9	$9.14 \cdot 10^9$

На рис. 8 и 9 представлены распределения числа взрывов по энергетическим классам и магнитуде по объемным волнам $MPVA$. Видно, что максимум распределений относится к взрывам с $K_p=6.3$ и $MPVA=2.2$. Лишь отдельные взрывы по энергии превышают $K_p=9$.

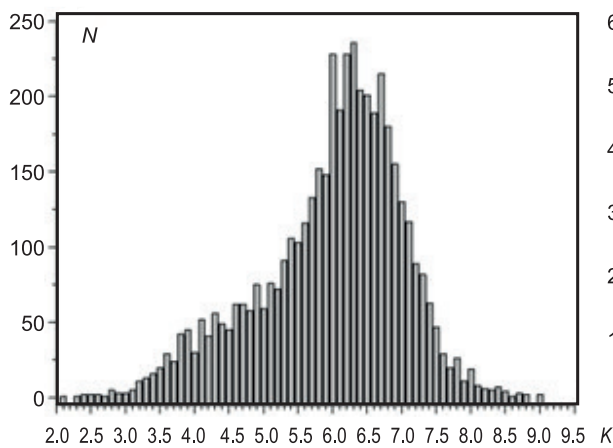


Рис. 8. Распределение количества взрывов по энергетическим классам K_p

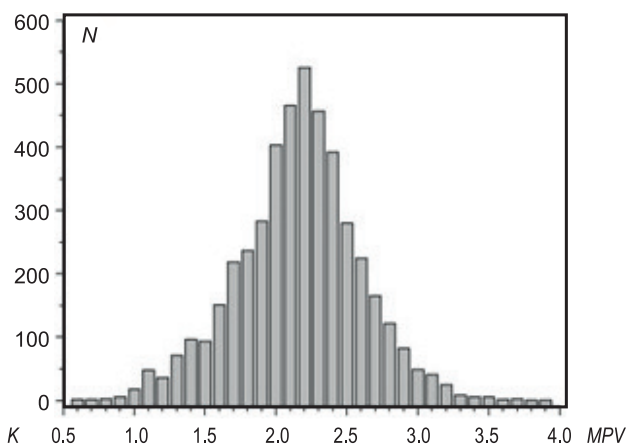


Рис. 9. Распределение количества взрывов по магнитудам $MPVA$

Для того, чтобы распознать взрывы и землетрясения, применяется ряд приемов и методик. Главными дискриминантами являются, безусловно, близость эпицентра к известному карьере, нулевая глубина, специфическое время взрывов, производимых в рабочее время в определенные часы, а также характерная форма волновой картины записей 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 данных приведено в работе [25].

На рис. 10, 11 представлены записи некоторых взрывов 2021 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 данным, не зависящим от сейсмических, и которые в дальнейшем могут быть использованы для распознавания как мастер-события на основе корреляционных методов. В КНИЦ идет планомерный сбор таких данных для отработки методик и повышения эффективности распознавания.

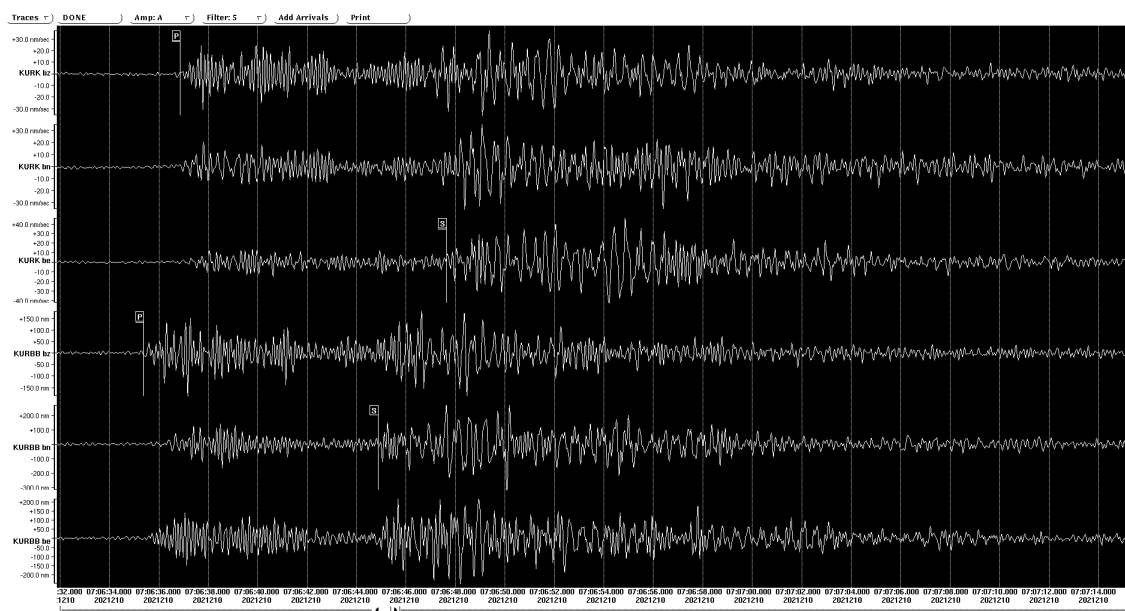


Рис. 10. Запись взрыва 29 июля 2021 г., $MPVA=2.7$, $K_p=7.5$ в карьере Каражыра в Восточном Казахстане (Абайская область) сейсмическими станциями Курчатов (KURK) и центральным элементом группы Курчатов-Крест (KURBB). Эпицентральные расстояния 68–77 км

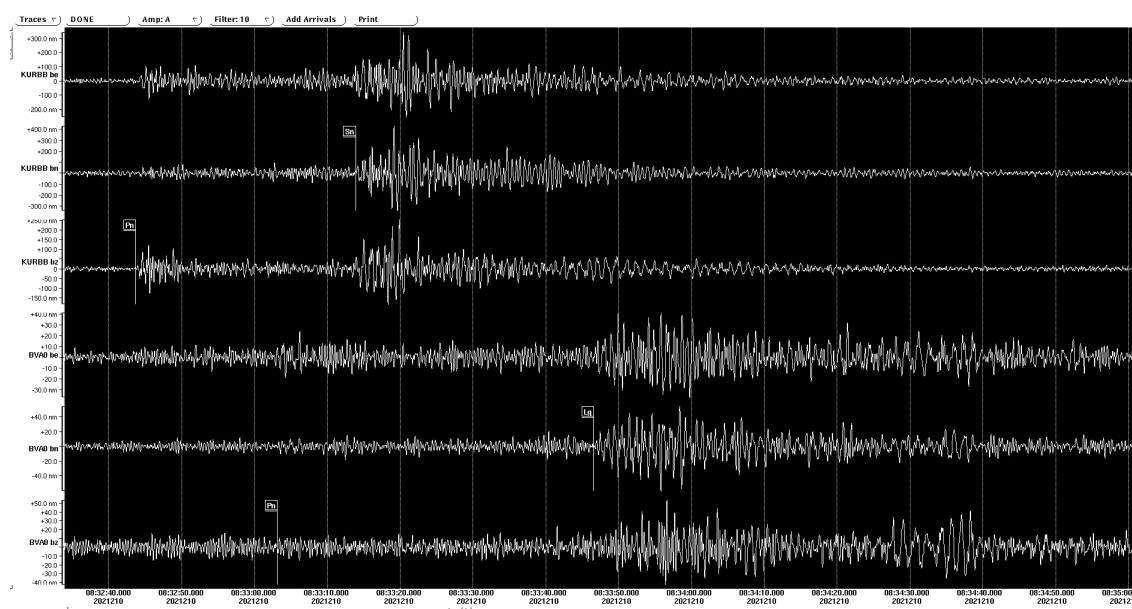


Рис. 11. Записи взрыва 29 июля 2021 г., $MPVA=2.3$, $K_p=7.3$ в угольном разрезе Экибастуз (Павлодарская область) на центральных пунктах сейсмических групп Курчатов-Крест (KURBB) и Боровое (BVAO). Эпицентральные расстояния 249–373 км

Заключение. Сейсмический режим большей части территории Казахстана в 2021 г. характеризовался умеренной сейсмической активностью, параметры режима близки к своим долгосрочным средним значениям. Самое сильное землетрясение в зоне ответственности в 2021 г. произошло на территории Китая 8 января в 03^h48^m с $K_p=11.7$, $MPVA=5.2$.

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

В 2021 г. зарегистрировано и идентифицировано более 4500 карьерных взрывов в разных областях Казахстана. Среди них наиболее сильные достигали сейсмической энергии $E=10^9$ Дж.

Службой сильных движений ИГИ зарегистрировано 18 землетрясений. Самое высокое значение ускорений отмечено при землетрясении 2 июля в 01^h15^m с $K_p=11.2$, $MPVA=4.6$ на станции Подгорное (PDGK), расположенной на расстоянии 155 км от эпицентра. Амплитуда ускорений на горизонтальной компоненте составила 1.7 см/с².

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Жунусова А.Ж., Мукамбаев А.С., Гашимов Р.А., Утешова Р.З., Казаков Д.В., Досымбекова Ж.Б., Досайбекова С.К., Далебаева Ж.А., Жунусова Ж.К., Найзабекова Г.Б., Утешова Р.З., Узбеков Р.Б., Сейнасинов Н.А., Рябенко О.В., Комекбаев Д.К., Шокпарбай А.Е., Пойгина С.Г., Лукаш Н.А.

Электронное приложение App05c_Kazakhstan_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Сейсмические станции Сейсмологической опытно-методической экспедиции Министерства образования и науки Республики Казахстан в 2021 г.; 2 – Сейсмические группы и станции Республиканского государственного предприятия «Институт геофизических исследований» Министерства энергетики Республики Казахстан в 2021 г.; 3 – Каталог землетрясений Казахстана за 2021 г.; 4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2021 г.; 5 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Казахстана в населенных пунктах в 2021 г.; 6 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Казахстана за 2021 г.

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. 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>
3. Kyrgyz Digital Network. (2025). [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. – URL: <https://www.fdsn.org/networks/detail/KR/>
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. 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>
6. 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.
7. ТОО «СОМЭ». (2025). [Веб-сайт]. – URL: <http://some.kz>
8. Михайлова Н.Н., Синева З.И. Обработка данных сейсмических станций НЯЦ РК // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2, № 10. – С. 64–68.
9. Borman P. New Manual of Seismological Observatory Practice. – Potsdam: GeoForschungsZentrum, 2002. – V. 1. – P. 16–50.
10. 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.
11. Kashima T. ViewWave Help. – 2002. – ISEE, BRL.
12. Казахстанский национальный центр данных. (2025). [Веб-сайт]. – URL: <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
13. 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.
14. 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.
15. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
16. Введенская А.В. Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. – М.: Наука, 1969. – С. 47–66.
17. 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.
18. Суворов А.И. Глубинные разломы платформ и геосинклиналей. – М.: Недра, 1973. – 216 с.
19. 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.
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 напряженно-деформированного состояния в слабосейсмичных районах Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. – С. 140–153.
22. 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
23. 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. 101–113. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.09> EDN: FOXCPR
24. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. – Алматы: «Гылым», 2004. – 270 с.
25. 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 2021

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

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

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

Abstract. In 2021, 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 Branch “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 and characteristics of the joint catalogue for Kazakhstan earthquakes compiled by data of two organizations. It includes 453 earthquakes with energy class $K_R=6.6-11.7$. The strongest earthquake within the considered territory occurred on January 8, 2021, $K_R=11.7$, $MPVA=5.2$. Its epicenter was located on the territory of China in the high mountain part of inner Tien Shan. On so-called “Northern Tien Shan” territory, 361 earthquakes with energy class $K_R \geq 6.6$ were recorded. The reoccurrence graphs and the calculated parameters of seismic regime are given, the focal mechanisms of earthquakes with $K_R \geq 9$ and parameters of strong motion records are described for 18 earthquakes. In 2021, seismic networks recorded 4535 mining explosions on the territory of Kazakhstan as well as several induced earthquakes at the regions of liquid mineral production deposits.

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

For citation: Mikhailova, N.N., Mukambayev, A.S., & Zhunusova, A.Zh. (2025). [Seismicity of Kazakhstan and adjacent territories in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 118–128. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.10> EDN: JSCJHF

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>
3. Kyrgyz Digital Network [Data set]. (2025). International Federation of Digital Seismograph Networks. Retrieved from <https://www.fdsn.org/networks/detail/KR/>
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. Droznin, D., & Droznina, S. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47, 215–224. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
6. Razakov, E.R. (1986). [To the issue of modernization of algorithm for determining parameters of earthquake hypocenters]. In *Kompleksnye issledovaniia na Alma-Atinskoi prognosticheskoi poligone* [Integrated investigations at Alma-Ata prediction site] (pp. 108–112). Alma-Ata, Kazakhstan: Nauka Publ. (In Russ.).
7. Seismological Experience-Methodical Expedition. (2025). Retrieved from <http://some.kz>
8. 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.).
9. Bormann, P. (2002). New manual of seismological observatory practice. Potsdam, Germany: GeoForschungsZentrum, 1, 16–50.

10. Mikhailova, N.N., Aristova, I.L., & Germanova, T.I. (2002). [Seismic wave travel-time curve by the results of chemical explosion signals]. *Geofizika i problemy nerasprostraneniia: Vestnik NIaTs RK* [Geophysics and non-proliferation problems: NNC RK Bulletin], 2(10), 46–54. (In Russ.).
11. Kashima, T. (2002). ViewWave Help. IISEE, BRI.
12. Kazakhstan National Data Centre. (2025). Retrieved from <http://www.kndc.kz/index.php/ru>
13. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspperimental'naia seismika (Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)) [Experimental seismic] (pp. 88–93)*. Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
14. Mikhailova, N.N., & Neverova, N.P. (1986). [Calibration function $\sigma(\Delta)$ for MPVA calculation of Northern Tien Shan earthquakes]. In *Kompleksnye issledovaniia na Alma-Atinskoi prognosticheskoi poligone* [Integrated investigations at Alma-Ata prediction site] (pp. 41–48). Alma-Ata, Kazakhstan: Nauka Publ. (In Russ.).
15. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudeniia na seismicheskikh stantsiiakh 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, Russia: Nauka Publ., 273 p. (In Russ.).
16. Vvedenskaia, A.V. (1969). *Issledovaniia napriazhenii i razryvov v ochagakh zemletriaseniia 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.).
17. 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.
18. Suvorov, A.I. (1973). *Glubinye razlomy platform i geosinklinali* [Deep faults in platforms and geosynclinals]. Moscow, Russia: Nedra Publ., 216 p. (In Russ.).
19. 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.).
20. Mikhailova, N.N., & Poleshko, N.N. (2005). [Earthquake focal 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. 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
23. Mikhailova N.N., Mukambayev A. S., & Zhunusova A.Zh. (2024). [Seismicity of Tajikistan and adjacent territories in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 101–113. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.09> EDN: FOXCPR
24. Sydykov, A. (2004). *Seismicheskii rezhim territorii Kazakhstana* [Seismic regime of Kazakhstan territory]. Alma-Ata, Kazakhstan: Gylym Publ., 270 p. (In Russ.).
25. Smirnov, A.A., Mukambayev, 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.).