

УДК 550.34

Сильное землетрясение 22 января 2024 г. с $M_w=7.0$ на юге Тянь-Шаня

© 2024 г. И.Н. Соколова¹, И.П. Габсатарова¹, А.В. Берёзина², И.Л. Аристова³

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия; ²ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан;

³ИГИ НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Поступила в редакцию 21.02.2024 г.

Аннотация. Представлены первые результаты анализа инструментальных и макросейсмических данных сильного землетрясения 22 января 2024 г. в области Гиссаро-Кокшаальского разлома Тянь-Шаня. Полученные решения механизмов очагов основного толчка и сильнейших афтершоков показали преобладание механизмов взбросо-надвигового типа, установлено простираание нодальных плоскостей вдоль разлома, что согласуется с северо-восточной ориентацией облака афтершоков и, в целом, с геодинамической обстановкой зоны сочленения Тянь-Шаня и Таримской впадины. Динамика разрыва в очаге была сложной, предположительно выявлено несколько субочагов разной энергии. Это отразилось на расхождении параметров гипоцентров, особенно глубины, по различным сейсмологическим центрам. Построена зависимость интенсивности в баллах от расстояния для этого землетрясения. Анализ записей приборов сильных движений по данным станций Центральной Азии показал, что наибольшие амплитуды ускорений PGA, равные 30–43 cm/c^2 , соответствуют интенсивности 6 баллов и зафиксированы от 88 до 182 км от эпицентра.

Ключевые слова: сильное землетрясение, Тянь-Шань, механизм очага, афтершоки, сильные движения, интенсивность.

Для цитирования: Соколова И.Н., Габсатарова И.П., Берёзина А.В., Аристова И.Л. Сильное землетрясение 22 января 2024 г. с $M_w=7.0$ на юге Тянь-Шаня // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 1. – С. 42–64. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.1.03>. EDN: KHSGBI

Введение

Центральный Тянь-Шань по уровню сейсмичности является одной из наиболее активных областей земного шара. За последние 135 лет здесь произошли два катастрофических землетрясения с $M > 8.0$ (Чиликское 1889 г. и Кеминское 1911 г.), а также ещё одно сильнейшее землетрясение с $M > 8.0$ произошло чуть южнее, в Кашгарии, в 1902 году. Однако в этом районе более 30 лет после Суусамырского землетрясения 1992 г. с $M_s=7.3$ не было сильных землетрясений с $M_w \geq 7.0$.

В работах [Копничев, Соколова, 2014; Kопничев, Sokolova, 2017] отмечалось, что после сильнейших землетрясений с $M_w \geq 7.0$ в районе Макрана (Южный Иран и Южный Пакистан) происходит активизация сейсмичности в Центральной и Южной Азии. Один из таких эпизодов активизации уже наблюдался после Макранского землетрясения 1945 г. ($M_w=8.1$), когда после землетрясения «в течение 11 лет сформирова-

лись две полосы сейсмичности (десять событий с $M_w=7.0-7.7$), идущих от Макрана и Восточных Гималаев соответственно к Центральному и Восточному Тянь-Шаню». В 2013 г. вновь произошли два сильных землетрясения в районе Макрана: 16 апреля и 24 сентября, оба с $M_w=7.7$, и также впоследствии образовались две полосы сейсмичности. В районе восточной полосы произошли два сильных Непальских землетрясения (25.04.2015 г. с $M_w=7.8$, 12.05.2015 г. с $M_w=7.3$), а также Синьцзянское землетрясение (12.02.2014 г. с $M_w=6.9$). В районе западной полосы поблизости от Сарезского озера реализовалось Памирское землетрясение 07.12.2015 г. с $M_w=7.2$ и совсем недавно – землетрясение 23.02.2023 г. с $M_w=6.9$. Авторы [Копничев, Соколова, 2014; Kопничев, Sokolova, 2017] предположили, что «по аналогии с серией землетрясений 1946–1956 гг., после событий 25.04.2015 г. и 12.05.2015 г. на южном фланге восточной полосы сейсмичности и Памирского землетрясения 07.12.2015 г. в западной полосе, следует

ожидать в ближайшие годы сейсмической активизации и в области наибольшего сближения двух полос сейсмичности в районе Центрального Тянь-Шаня (примерно между 70 и 79° восточной долготы), где не было событий с $M_w \geq 7.0$ после Суусамырского землетрясения 1992 года. Длительность этого эпизода активизации, как и после Макранского землетрясения 1945 г., может составить ~ 10 – 12 лет (приблизительно до 2024 г.).

В статьях [Копничев, Соколова, 2014; Kopnichev, Sokolova, 2017] отмечено, что сильнейшие Макранские землетрясения, а также глубоко-фокусные Гиндукушские события [Kopnichev, Sokolova, 1997; 2006] служат триггером, ускоряющим подготовку сильных землетрясений в сейсмически активных районах Центральной Азии. Медленный подъём флюидов в литосфере происходит в течение длительного времени [Kopnichev, Sokolova, 2003], и тектонические структуры должны быть подготовлены к тому, чтобы отреагировать на изменение поля напряжений. Отметим, что в работе [Kopnichev, Sokolova, 2007; Земная кора ..., 2006] в районе Центрального Тянь-Шаня были выделены зоны высокого поглощения поперечных волн, связанные с высоким содержанием флюидов, которые обычно проявляются перед сильными коровыми землетрясениями. Один из таких районов – Южный Тянь-Шань, где высокое и промежуточное поглощение S -волн в нижней коре было обнаружено по данным сейсмических станций Кыргызстана и КНР в период 1999–2000 гг. [Земная кора ..., 2006]. Таким образом, в районе хребта Кокшаал-тоо (Южный Тянь-Шань) в течение длительного времени наблюдались геодинамические процессы, связанные с подготовкой сильного корового землетрясения, которое могло реализоваться в период с 2015 по 2024 год.

22 января 2024 г. в $18^{\text{h}}09^{\text{m}}$ UTC (23.01.2024 г. в $00^{\text{h}}09^{\text{m}}$ по местному времени) на территории Китая в уезде Уши (Учтурфан) округа Аксу, КНР, недалеко от границы с Кыргызстаном, произошло сильное землетрясение с $M_w=7.0$ и интенсивностью в эпицентре по предварительным оценкам Института сейсмологии (ИС) НАН КР $I_0=8$ баллов по 12-балльной шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]. Согласно отчёту [China Earthquake ..., 2024], после землетрясения были проведены «полевые работы по обследованию землетрясений, организованные сейсмологической администрацией Китая China Earthquake Administration (CEA) [China Earthquake ..., 2024]. Макросейсмические исследования показали, что 9-балльная изосейста (согласно 12-балльной «Китайской шкале интенсивности землетрясений» GB/T 17742-2020

[Chinese seismic ..., 2020], подобной MSK-64) занимает площадь 252 км^2 , включает посёлок Ямансу Киргизского уезда Уши префектуры Аксу и посёлок Курансарике уезда Акчи Кызылсуйской автономной префектуры. Толчки ощущались во всех странах Центральной Азии: на территории Китая, Кыргызстана, Казахстана, Таджикистана, Узбекистана, кроме того, на территории Российской Федерации, Индии и Пакистана. За основным толчком последовали многочисленные афтершоки – по данным ИС НАН КР, 22 января было зарегистрировано 179, 23 января – 459 повторных толчков, диапазон магнитуд $MPVA$ афтершоков варьируется от 2.0 до 5.8.

Учитывая большой резонанс в обществе и макросейсмические проявления на большой территории, в настоящей статье приводятся оперативные инструментальные и макросейсмические данные сильного землетрясения 22 января 2024 г., названного Учтурфанским по названию ближайшего населённого пункта в КНР. Эти данные могут служить основой дальнейших исследований сейсмических проявлений этого землетрясения.

Геолого-геофизическая характеристика района исследований

Землетрясение произошло в Тянь-Шаньской сейсмической зоне (Т-ШСЗ), которая является одной из наиболее сейсмоактивных зон на значительной территории континентальной части Евразии и в мире в целом. Рассматриваемый район включает значительную часть Центрального Тянь-Шаня, ограниченную координатами 40.5 – 44.0°N и 74.0 – 79.0°E . Согласно [Крестников и др., 1979], геосинклинальный этап развития в этом районе Тянь-Шаня закончился в конце герцинского этапа. В течение мезозоя и большей части палеогена образовавшаяся платформа испытывала лишь незначительные дифференцированные движения. Активизация тектонических движений произошла в олигоцене, наибольшая их интенсивность имела место в конце неогена – четвертичном периоде [Крестников и др., 1979]. Большую часть района занимают горные хребты, сложенные палеозойскими и докембрийскими породами, с вершинами, нередко превышающими 5000 м , максимальная отметка – «Пик Победы» – 7439 м . Горные сооружения и впадины разделены зонами глубинных разломов, простирающихся в основном в восточном – северо-восточном направлении. Самые крупные из них – Северо-Тяньшаньский, Заилийский, Кемино-Чиликский, Линия Николаева, Атбашский и др. [Крестников и др., 1979] (рис. 1).

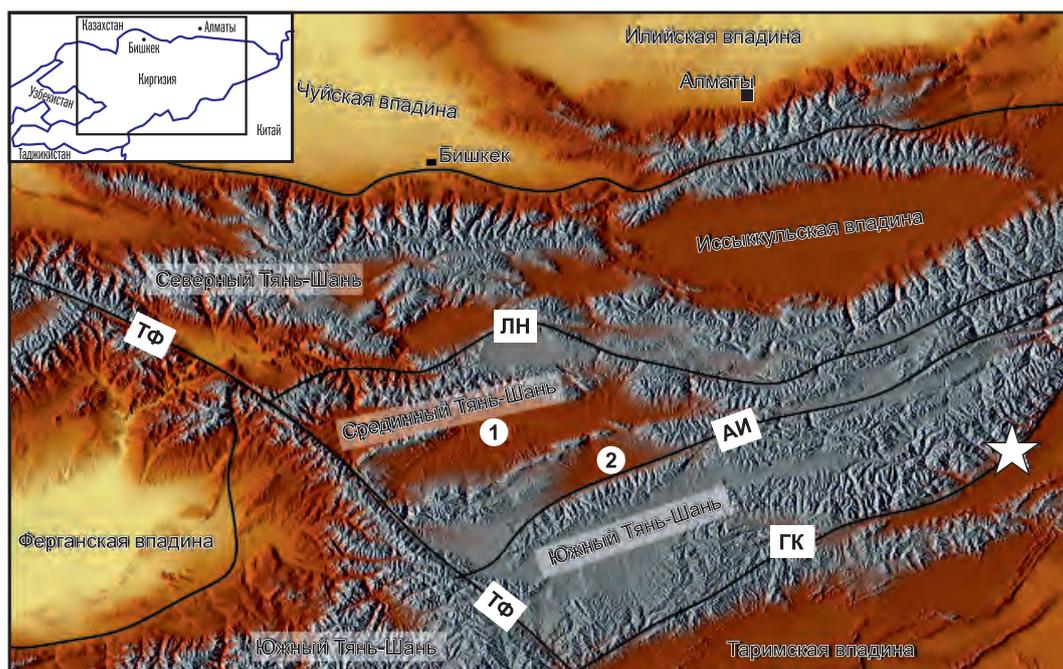


Рис. 1. Главные тектонические элементы Центрального Тянь-Шаня и сопредельных территорий по [Пржиялговский и др., 2022]. На врезке вверху слева – схема с границами государств.

Звёздочкой показан эпицентр землетрясения 22.01.2024 года. Разломные ограничения Срединного Тянь-Шаня: Таласо-Ферганский сдвиг (ТФ), Линия Николаева (ЛН), Атбаш-Иньльчекский разлом (АИ), Гиссаро-Кокшаальский разлом (ГК)

Наиболее изученной структурой в Т-ШСЗ является Таласо-Ферганская разломная зона, протягивающаяся на ≈ 500 км с северо-запада на юго-восток, разделяя Тянь-Шань и Памир. Смещения по разлому совершаются со скоростью $8\text{--}16$ мм/год [Burtman et al., 1996]. «В восточной части Центрального Тянь-Шаня направление перемещения пунктов GPS становится северо-восточным. Скорость перемещения пунктов GPS на юге Тянь-Шаня больше, чем на севере. Это изменение скорости соответствует величине поперечного сокращения площади региона в результате его внутренней деформации. Сближение Тарима с Казахской платформой, которое включает поперечное сокращение Тянь-Шаня и надвиги/поддвиги на его границах, составляет 20 ± 2 мм/год» [Буртман, 2012].

Данные томографического анализа [Roeker et al., 1993] показывают, что верхняя мантия под горными сооружениями Центрального Тянь-Шаня в целом характеризуется пониженными скоростями сейсмических волн. Скорости продольных волн заметно возрастают под Чуйской и Илийской впадинами – южной окраиной Казахского щита (примерно на 4%).

Для изучения строения литосферы и астеносферы в горных районах и прилегающих участках

платформ, можно использовать анализ структуры поля поглощения S -волн по характеристикам коды записей местных землетрясений или карьерных взрывов. В течение 1997–2000 гг. в районе Центрального Тянь-Шаня были установлены 28 широкополосных трёхкомпонентных сейсмических станций в рамках проекта «Чингиз» (цель проекта – мультидисциплинарное исследование строения Тянь-Шаня) Ренселлеровского политехнического института США [Roeker, 2001]. Кроме того, для анализа использовались данные цифровой станции WUS (глобальная сеть GEOPHONE), а также аналоговых узкополосных станций MDO, IRI и SUFK [Kornichev, Sokolova, 2007; Соколова, Копничев, 2004; Земная кора ..., 2006]. Методика обработки данных описана в [Копничев, 1985], в её основе лежит заключение, что на малых эпицентральных расстояниях волны, формирующие коду, распространяются вблизи от вертикальной плоскости. В случае, если эти волны проникают в слои относительно сильного или слабого поглощения, это приводит к появлению на огибающих коды участков соответственно повышенного или пониженного наклона. Были построены разрезы поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхах мантии (на глубинах

до 220 км). Точность определения глубин границ различных слоёв составляет ~5 км в коре и ~10 км в верхах мантии (эффективная добротность Q_s варьируется от 40–50 до более 2000). В работе [Земная кора ..., 2006] приведены карты поля поглощения для четырёх диапазонов глубин: 30–50, 50–70, 70–90 и 110–130 км. Диапа-

зон изменения параметра Q_s был разбит на три уровня, соответствующие повышенному ($Q_s=30–120$), промежуточному (120–480) и пониженному (500–2000 и более) поглощению. На рис. 2, 3 показаны карты поглощения для глубин 30–50 и 50–70 км.

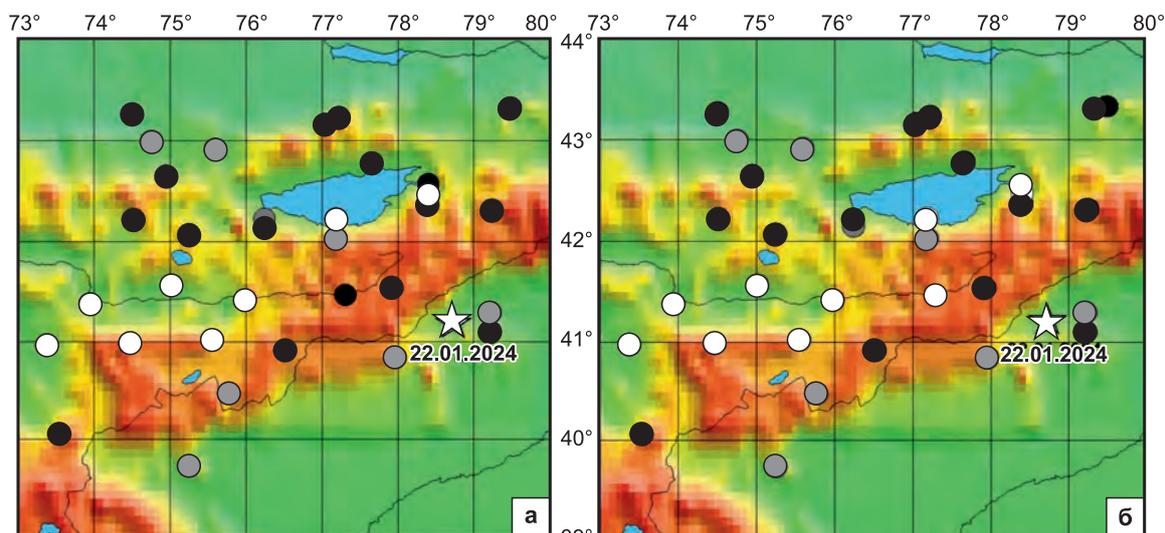


Рис. 2. Карта поля поглощения S-волн: а – для диапазона глубин 30–50 км; б – для диапазона глубин 50–70 км из [Земная кора ..., 2006].

Здесь и ниже: сильное поглощение – чёрные значки; промежуточное – серые, слабое – белые, звёздочка – эпицентр Учтурфанского землетрясения 22.01.2024 г.

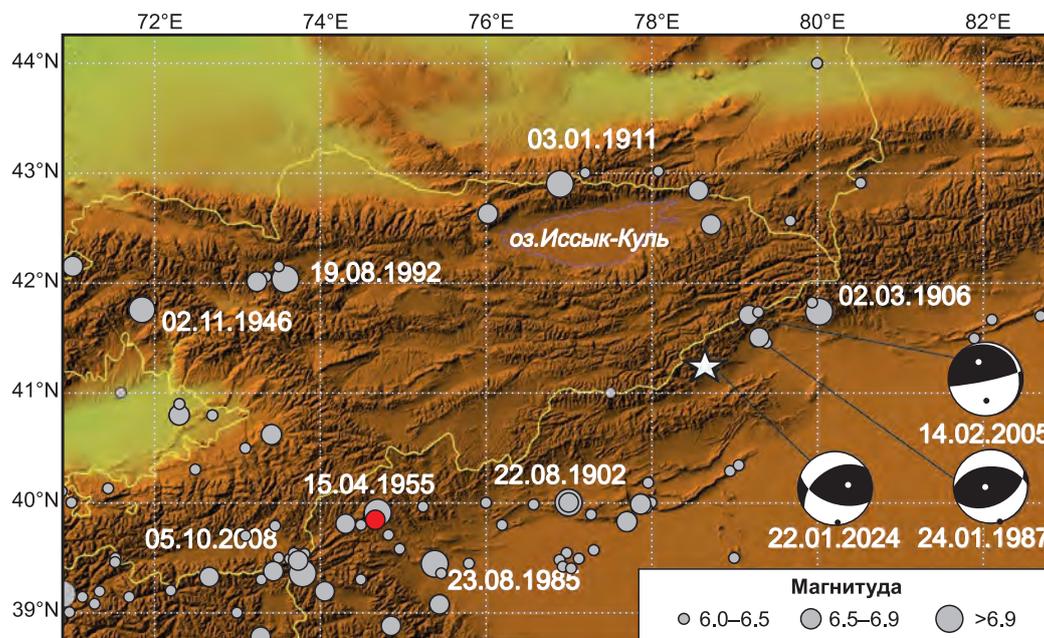


Рис. 3. Сильнейшие землетрясения Кыргызстана и Северо-Западного Китая.

Показаны диаграммы механизмов очагов землетрясений в области Учтурфанского землетрясения 22 января 2024 г. по данным GCMТ [Global CMT, 2024; Dziewonski et al., 1981; Ekström et al., 2012]

Для всех станций выделяется слой относительно повышенного поглощения в нижней коре ($Q_s=40-130$). Для района станции WUS, вблизи эпицентра Учтурфанского землетрясения, выявлен резкий контраст поля поглощения в земной коре и верхах мантии: на глубинах до 75 км величины Q_s гораздо ниже для района хребта Кокшаал, чем для окраины Таримского массива. Это согласуется с данными, полученными ранее для районов Илийской, Чуйской, Иссык-Кульской, Нарынской и Ферганской впадин. На северной окраине Таримской впадины выделяется область промежуточного поглощения. В горных районах (хребты Заилийский, Киндиктас, Кетмень, Кунгей Алатау, Кыргызский, Терскей Алатау, Алайский и Кокшаал) наблюдается в основном повышенное и иногда промежуточное поглощение. Высокое поглощение S -волн в нижней коре и верхах мантии свидетельствует о подготовке сильного землетрясения в районе эпицентральной зоны Учтурфанского землетрясения 22.01.2024 года.

Тянь-Шань, как часть Центрально-Азиатского пояса, является типичным эпиплатформенным орогеном в стадии современного поднятия [Абдрахматов и др., 2001; Современная геодинамика ..., 2005; Кучай и др., 2017].

Сейсмичность

Т-ШСЗ характеризуется частыми умеренными и сильными землетрясениями. Всего за период 1896–2010 гг. в Тянь-Шаньской СЗ зарегистрировано 22 землетрясения с $M \geq 6.5$. В 1992 г. в Северном Тянь-Шане произошло катастрофическое Суусамырское землетрясение с $M_w=7.3$. Его очаг приурочен к дизъюнктивному узлу пересечения разломов близширотной Тянь-Шаньской (Арамсуйский взбросо-сдвиг) и северо-западной Таласо-Ферганской (Ичкелетау-Суусамырский сдвиг) ориентации. В XXI в. катастрофические разрушительные землетрясения с $M_w \geq 7.5$ в Тянь-Шаньской сейсмической зоне не происходили [Шерман, 2014]. По данным уточнённого каталога землетрясений [Bondar et al., 2023], за период (1900–2017 гг.) ситуация с проявлением сильных землетрясений не изменилась (рис. 3).

Анализ многолетних данных за XX в. и начало XXI в., проведённый в [Мамыров, 2012], позволил выявить четыре главных периода изменения сейсмического режима горноскладчатой системы Тянь-Шаня длительностью 34–36 лет. Каждый период разделён на фазы активизации (18–19 лет), во время которых происходит

шесть-восемь катастрофических землетрясений с $K=16-18$ и $M_w \leq 6.6$. Эти фазы сменяются снижением сейсмической активности, длительностью 15–18 лет, когда каждый год проявляются землетрясения с $K=12.8-15.5$ и $M_w=5.2-6.5$. Предполагается, что с 2008 г. после Нура-Алайского землетрясения 5 октября 2008 г. началась IV фаза проявления крупных сейсмокатастроф, которая, вероятно, продлится до 2025 года.

В периоды активизации разрушительные землетрясения проявляются по всей территории системы Тянь-Шаня. Наиболее сейсмоопасными являются зоны активных разломов Гиссаро-Кокшаальской системы, где и произошло Учтурфанское землетрясение 22 января 2024 г. с $M_w=7.0$.

Основные параметры землетрясения 22 января 2024 г.

Основной толчок землетрясения 22 января 2024 г. с $M_w=7.0$ был зарегистрирован всеми станциями мира. Отмечается сложность интерпретации записей в самом начале события, которая прослеживается на различных расстояниях от эпицентра и выражается в относительно малоамплитудных и плохо выраженных колебаниях примерно за 6–7 с до явного движения, соответствующего землетрясению с $M=7.0$. Пример такой волновой картины приводится на рис. 4. На записях локальных и региональных станций не удаётся выделить такое движение, так как на нескольких из них в первые 20–30 с наблюдался зашкал записи.

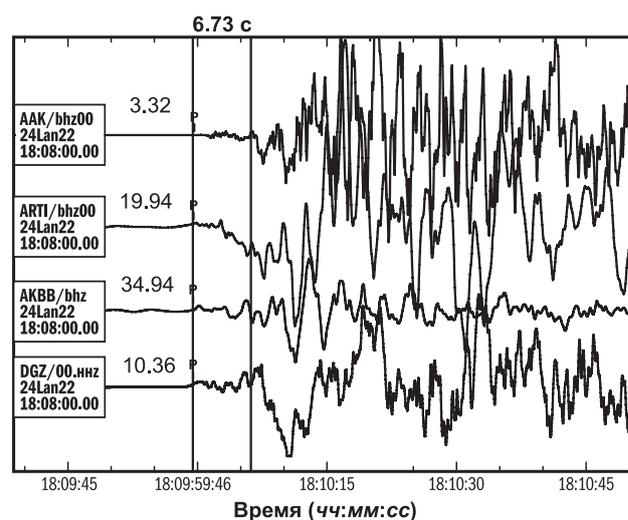


Рис. 4. Фрагменты записей основного толчка землетрясения 22 января 2024 г. станциями, удалёнными на различные расстояния Δ : ААК – 3.32°, DGZ – 10.36°, ARTI – 19.94°, АКBB – 34.94°

На текущий момент международные и региональные сейсмологические центры в основном приводят информацию об автоматическом решении или интерактивном предварительном, возможно, со временем решения будут уточняться. Некоторые сейсмологические центры выделили два субсобытия, например, в Международном центре данных ОДВЗЯИ в автоматическом сейсмологическом бюллетене SEL3 выделили и обработали два события, первое из них меньшей энергии с параметрами: $t_0=18^h09^m05.27^s$, $\varphi=41.3304^\circ\text{N}$, $\lambda=78.7085^\circ\text{E}$, $h=17$ км, $ML=4.6$, $m_b=5.7$; второе событие обработано по данным только четырёх сейсмических станций, две из которых являются сейсмическими группами «Маканчи» (MKAR, $\Delta=8.97^\circ$) и «Варрамунга» (WRA, $\Delta=76.95^\circ$), и две трёхкомпонентные станции «Хабаз» (KBZ, $\Delta=28.47^\circ$) и «Гаити» (PPT, $\Delta=132.29^\circ$). Параметры второго события следующие: $t_0=18^h09^m15.8^s$, $\varphi=39.9757^\circ\text{N}$, $\lambda=79.9943^\circ\text{E}$, $h=0$ км, $ML=6.7$, $m_b=6.5$. Из-за небольшого количества станций и отсутствия сейсмических станций на близких расстояниях решение получено с большой ошибкой.

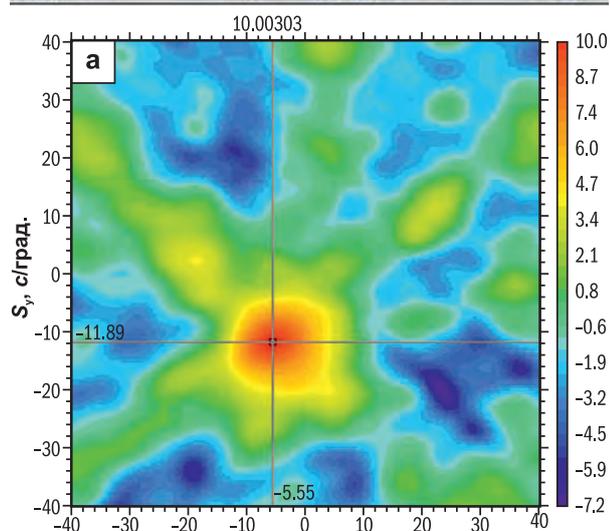
Для интерпретации волновой картины сложных сейсмических событий целесообразно использовать возможности обработки сейсмических групп. На рис. 5 приведён результат применения FK-анализа по записям десяти элементов сейсмической группы MKAR. Для Pn -волны

первого субсобытия 22.01.2024 г. получено: $t_{Pn}=18^h10^m36.2^s$, медленность $Slowness=13.1$ с/град., кажущаяся скорость $AppVel=8.476$ км/с, $AZ=205.0^\circ$ (рис. 5а). Для Pn -волны второго субсобытия: $t_{Pn}=18^h10^m42^s$, медленность $Slowness=13.3$ с/град., кажущаяся скорость $AppVel=8.349$ км/с, $AZ=207.3^\circ$ (рис. 5б). Согласно работе [Синева, 2005], полученные кажущиеся скорости и медленности для сейсмической группы «Маканчи» (MKAR) соответствуют волне Pn , поэтому с большой вероятностью оба эти вступления являются одним и тем же типом волн, но для разных сейсмических субсобытий, близких во времени и пространстве.

Была проведена попытка получить локацию для обоих субсобытий Учтурфанского землетрясения. Для первого события меньшей энергии были использованы только первые вступления P -волн для близких расстояний и Pn -волны – для региональных расстояний. Для второго события использованы P - и S -волны на близких расстояниях, Pn -, Sn - и Lg -волны – на региональных расстояниях. Для определения кинематических и динамических параметров землетрясения использовались математическое обеспечение Antelope [Quinlan, 1998] и скоростная модель Сабитовой Т.М. [Roeker et al., 1993]. На рис. 6 представлена карта расположения сейсмических станций, данные которых использовались в обработке.

Min(Hz)	Max(Hz)	AppVel(km/s)	Slowness(s/deg)	Az(deg)	Fstat	SNR
0.5	6.0	8.476	13.119	205.028	12.1	1891.89

Low Freq. 0.47 High Freq. 5.94



Min(Hz)	Max(Hz)	AppVel(km/s)	Slowness(s/deg)	Az(deg)	Fstat	SNR
0.5	6.0	8.349	13.318	207.305	7.6	29.48

Low Freq. 0.47 High Freq. 5.94

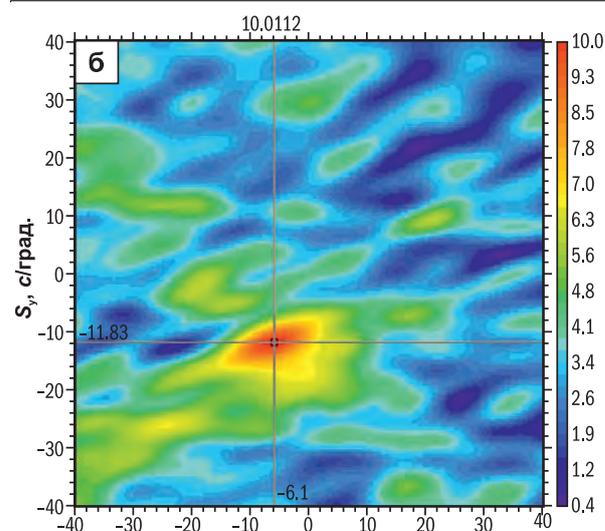


Рис. 5. Результат применения FK-анализа по записям десяти элементов сейсмической группы MKAR:

а – для Pn -волны первого субсобытия в 22.01.2024 г. в $18^h10^m36.2^s$;

б – для Pn -волны второго субсобытия 22.01.2024 г. в $18^h10^m42^s$

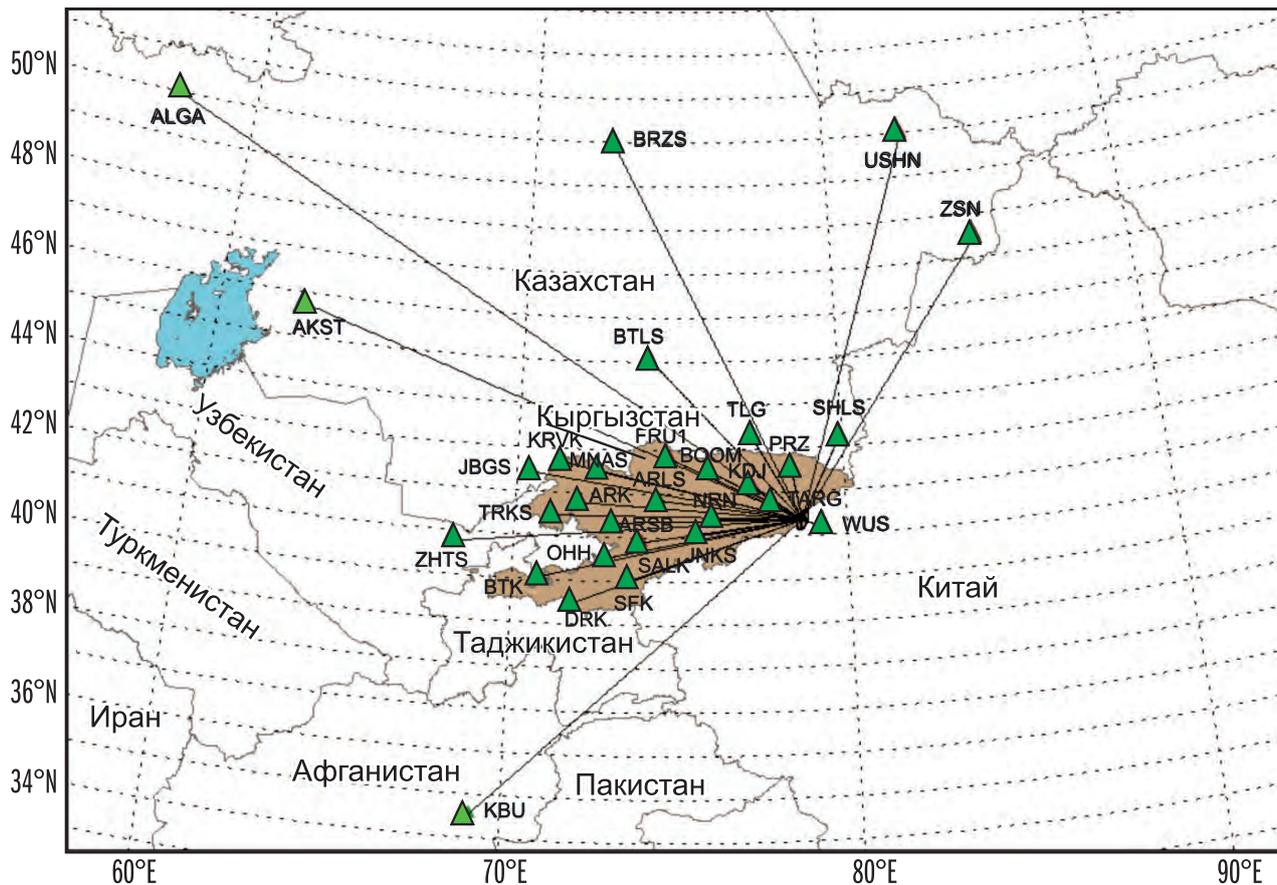


Рис. 6. Карта расположения сейсмических станций, данные которых использовались для локализации землетрясения 22 января 2024 г.

Для первого субсобытия использованы данные 28 станций на расстояниях от 0.73 до 16.9°, получены параметры: $t_0=18^h09^m2.44^s$, $\varphi=41.3869^\circ\text{N}$, $\lambda=78.6456^\circ\text{E}$, $h=0$ км, эллипс ошибок – $S_{\text{maj}}=55.26$ км, $S_{\text{min}}=17.39$ км. Для второго субсобытия также использовались данные 28 станций, удалённых на расстояния от 0.19 до 17.5°, получены параметры: $t_0=18^h09^m12.8^s$, $\varphi=41.635^\circ\text{N}$, $\lambda=78.4357^\circ\text{E}$, $h=20$ км, эллипс ошибок – $S_{\text{maj}}=33.72$ км, $S_{\text{min}}=22.84$ км. К сожалению, для локализации с хорошей точностью пока недостаточно данных, так как большинство станций находится на севере от эпицентра, кроме того, в дальнейшем решение будет уточнено.

Сложность волновой картины сказалась на неоднозначности локации в различных сейсмологических центрах при получении параметров гипоцентра основного толчка, особенно это касается определения глубины гипоцентра, значение которой варьирует от 5 до 27 км и в дальнейшем может быть уточнено. В табл. 1 приводятся параметры землетрясения 22 янва-

ря 2024 г., полученные различными сейсмологическими центрами, в основном в режиме оперативной обработки.

Интересным является тот факт, что кроме сейсмических станций, Учтурфанское землетрясение зарегистрировали инфразвуковые группы Международной системы мониторинга I46 ($\Delta=13.32^\circ$), I31 ($\Delta=17.02^\circ$) и I34 ($\Delta=20.71^\circ$), причём инфразвуковые группы зарегистрировали как волны со скоростями, близкими к скоростям сейсмических фаз, так и непосредственно инфразвуковой сигнал.

В настоящем исследовании примем за наиболее точное решение Геологической служба США (NEIC), т.к. параметры, определённые этой службой, обеспечены большим числом станций на различных расстояниях, хорошо окружающих эпицентр, и одновременно близки к решениям, полученным по региональным сетям Кыргызстана, КНР и Казахстана. Для дальнейших расчётов эпицентральных расстояний данные NEIC будут использоваться как опорные.

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 22 января 2024 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН и других центров

Центр	t_0 , чч:мм:сс.с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда/ N_{ct}	Окружение эпицентра			
			φ , °N	$\delta\varphi$, °	λ , °E	$\delta\lambda$, °	h , км	δh , км		N_{ct}	Δ_{min} , °	Δ_{max} , °	Gap , °
ССД ФИЦ ЕГС РАН	18:09:05.1		41.38		78.61		10f	fix	$MS=7.3/30$, $m_b=7.0/48$	58	3.32	80.52	44
CSEM	18:09:05.8	1.6	41.311		78.655		20		$M_w=7.0$, $m_b=6.8/340$	854			21
NEIC	18:09:04.4	0.65	41.263	0.43	78.654	0.43	13	1.8	$M_w=7.0$	121	0.43		29
IDC SEL1	18:09:05.0	5.33	41.313		78.7126		16	33.1	$ML=4.6/3$ $m_b=5.7/27$	32	6.05	140.97	69
IDC SEL2	18:09:03.8	4.84	41.313		78.7126		16	33.1	$ML=4.6/3$ $m_b=5.7/27$	43	3.41	164.41	39
IDC SEL3 событие 1	18:09:05.3	5.33	41.3304		78.7085		17	33.1	$ML=4.6/3$ $m_b=5.7/26$	33	6.04	140.96	69
IDC SEL3 событие 2	18:09:15.8	1.52	39.9757		79.9943		0		$ML=6.7/1$ $m_b=6.5/2$	4	8.97	132.29	165
IDC REV	18:09:02.4	0.35	41.24391		78.6769		0	fix	$ML=4.8/7$ $m_b=5.7/37$ $MS=7.2/90$	56	3.42	164.45	30
GCMT	18:09:14.9		41.19		78.57		14		$M_w=7.0$, $MS=7.0$				
AUST событие 1	18:09:05.4	1.13	41.2831		78.6816		16		$M_{wp}=7.0/202$ $m_b=6.6/205$	284	0.41	104.31	20
AUST событие 2	18:09:07.9		41.4549		78.8370		15.5						
CENC KHP	18:09		41.26		78.63		22		$M=7.1$				
CEA-IGP Chine	18:09:05		41.2938		78.5937		27.4		$M_w=7.0$				
KNDC	18:09:04.4	2.37	41.09		78.6687		0f	fix	$MPV=6.4$ $m_b=6.8$ $K_p=14.9$	10	2.32	17.08	
СОМЭ МЧС РК	18:09:02.8		41.20		78.62		5		$MPVA=6.7$ $K_p=15.2$				
ИС НАН КР	18:09:04.0	0.10	41.261		78.566		15		$MPVA=7.0$ $K_p=15.5$	31	0.71	6.68	

Механизм очага основного толчка и некоторых афтершоков

Геодинамическая обстановка в зоне сочленения Тарима и Тянь-Шаня характеризуется преобладанием землетрясений с надвиговыми и взбросовыми движениями в очаге [Шерман, 2014]. Это подтверждают полученные в разных центрах решения механизмов очагов основного толчка землетрясения 22 января 2024 г. и нескольких его афтершоков. В табл. 2 представлены решения, полученные в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США (USGS NEIC) на ос-

нове W -phase moment tensor (M_{ww}), в Ламонт-Дохертской обсерватории Земли Колумбийского университета США (GCMT) по методу СМТ (Centroid moment tensor), а также ФИЦ ЕГС РАН по знакам первого движения в P -волне. Решения по данным этих центров для основного толчка близки. Землетрясение возникло под действием напряжений сжатия, ориентированных на юг ($AZ=174-178^\circ$). Одна из плоскостей (NPI) простирается на юго-запад ($STK=232-236^\circ$), другая ($NP2$) – на восток-юго-восток ($STK=107-113^\circ$), обе плоскости имеют близкие углы падения ($DIP=42-62^\circ$). Тип движения по плоскости NPI – левосторонний сдвиг с компонентами взброса,

по $NP2$ – взброс с компонентами правостороннего сдвига [Информационное сообщение ..., 2024]. Кроме решений этих трёх центров, в табл. 2 приведён механизм, полученный по методу СМТ в Австралийском центре, который, в отличие от GCMT, NEIC и ФИЦ ЕГС РАН, представлен надвигом по плоскости $NP2$, что тоже не противоречит геодинамике этого района. Тип движения «надвиг» был получен и в региональном центре Института сейсмологии НАН КР.

По данным центра CEA-IGP Chine, за плоскость разрыва основного толчка может быть принята нодальная плоскость $NP1$ с параметрами $STK=250^\circ$, $DIP=42^\circ$, $SLIP=59^\circ$, что сопоставимо с простиранием Гиссаро-Кокшаальского разлома. Тип движения в очаге по [Briefing on scientific ..., 2024] определён как «надвиговый механизм с некоторыми сдвиговыми компонентами, а продолжительность разрушения не превышала 20 с. Длина основного разрыва составляет около 25–30 км, и он, похоже, вышел на поверхность».

В [Briefing on scientific ..., 2024] высказано предположение, что интенсивность землетрясения в районе эпицентра может превысить 9 баллов, а возможная площадь бедствия составит около 65000 км². Однако эта площадь в значительной части находится в горной малонаселённой местности. В этом же центре проведено предварительное измерение энергии землетрясения на основе подбора спектра источника и метода плотности потока энергии. Результаты показали, что энер-

гия излучения этого события эквивалентна энергетической магнитуде $Me=7.3$, т.е. $Me > Mw$. Такое соотношение магнитуд позволило сделать вывод, что землетрясение является неглубоким надвигом и источник излучает сейсмическую энергию с высокой эффективностью. По сравнению с землетрясениями, имеющими подобный сейсмический момент, у настоящего события должна быть способность вызывать сотрясение земли и повреждение зданий сильнее. И землетрясение будет сильнее ощущаться в прилегающих районах.

Скалярный сейсмический момент основного толчка, полученный в ФИЦ ЕГС РАН по спектрам продольных волн на станции «Магадан» ($\Delta=46.8^\circ$), составляет $M_0=3.94 \cdot 10^{19}$ Н·м, $Mw=7.0$. [Информационное сообщение ..., 2024].

Начальная стадия афтершокового процесса

Афтершоки являются отражением релаксационных процессов в области очага главного события, которые проявляются в уменьшении интенсивности потока событий во времени по определённым законам.

Небольшой период наблюдений (десять суток) за развитием процесса в очаговой зоне землетрясения 22 января 2024 г. пока не позволил собрать значительный объём каталога афтершоков, а их число, судя по предварительным данным, может достигнуть со временем нескольких тысяч. Поэтому пока не удалось исследовать закон затухания афтершоков.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов землетрясений основного толчка и некоторых афтершоков землетрясения 22 января 2024 г.

Центр	Дата, дд.мм.гггг	t_0 , чч.мм.сс.с	h , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				M_w	MS	m_b	T		N		P		$NP1$			$NP2$		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
GCMT	22.01.2024	18:09:14.9	14	7.0	7.0	59	76	30	268	5	175	236	48	47	110	57	127	
AUST	22.01.2024	18:09:07.9	15.5	7.2		54	38	14	288	33	189	111	79	104	237	17	38	
NEIC	22.01.2024	18:09:07.0	27	7.0		57	73	32	274	10	178	235	45	42	113	62	126	
CEA-IGP Chine	22.01.2024	18:09:05.0	27.4	7.0		68	74	21	274	7	181	250	42	59	109	55	115	
ФИЦ ЕГС РАН	22.01.2024	18:09:05.1	10		7.3	65	58	29	270	11	174	232	42	43	107	62	124	
ФИЦ ЕГС РАН	22.01.2024	19:36:47	10		5.8	50	90	40	270	0	0	237	57	40	123	57	140	
ФИЦ ЕГС РАН	22.01.2024	23:19:26			5.7	44	261	45	68	6	164	41	65	39	292	55	150	
ФИЦ ЕГС РАН	23.01.2024	01:18:42	10		5.4	56	133	33	296	7	31	275	60	51	154	47	138	
ФИЦ ЕГС РАН	25.01.2024	20:01:27	10		5.6	22	295	67	135	7	28	340	80	159	74	70	11	
GCMT	29.01.2024	22:27:43.7	12	5.7	5.7	64	61	25	236	2	327	214	52	57	81	49	125	

Примечание – AUST – Центр наук о Земле при Правительстве Австралии; CEA-IGP Chine – China Earthquake Administration (CEA).

Однако, проанализировав каталоги ряда сейсмологических центров (рис. 7, табл. 3) – Службы срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН [Информация Службы ..., 2024], Казахстанского центра KNDC, ИС НАН КР и Института геофизики Китайской администрации по землетрясениям (CENC), – можно сделать некоторые предварительные выводы. На рис. 7 на фоне спектрограммы станции «Подгорное» (PDGK, Казахстан) показан ряд афтершоков, зарегистрированных за первые три часа тремя службами – CENC, ССД ФИЦ ЕГС РАН и KNDC. Самые сильные

афтершоки ($M=5-7$) не пропущены всеми службами, землетрясения с $M=4$ зарегистрированы Казахстанским и Китайским центрами, с $M=3$ – в основном только Китайским центром.

Наиболее наполненным по числу зарегистрированных повторных толчков является каталог ИС НАН КР, который насчитывает 638 землетрясений с $MPV \geq 2.0$ за период чуть более суток. Особенно важно, что именно в этом каталоге приводятся афтершоки первых минут после основного толчка, в отличие от других каталогов (рис. 8).

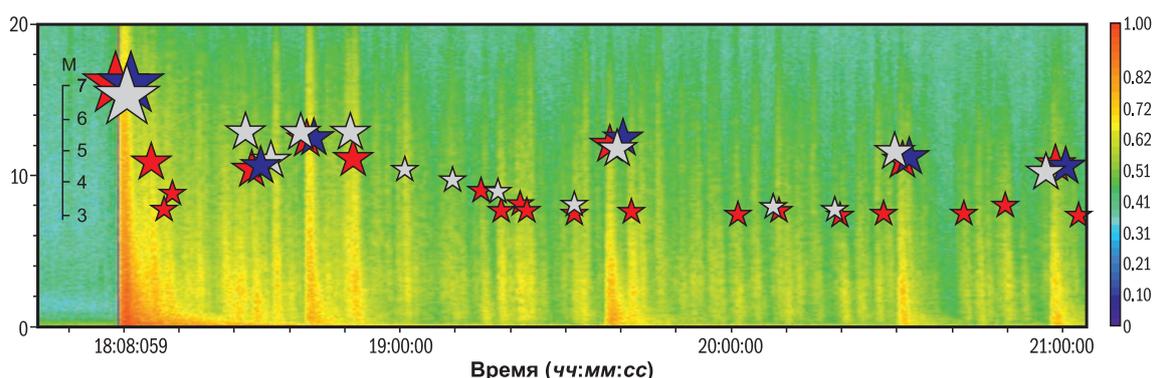


Рис. 7. Ряд афтершоков землетрясения 22 января 2024 г. в первые три часа после основного толчка на фоне спектрограммы по записи станции PDGK ($\Delta=239$ км).

Красные звёзды – данные центра CENC, синие звёзды – ССД ФИЦ ЕГС РАН, серые звёзды – KNDC. Вертикальная ось – частоты с 0 до 20 Гц. Цветовая легенда справа показывает энергию событий относительно самого сильного основного толчка

Таблица 3. Распределение афтершоков землетрясения 22 января 2024 г. по магнитудам по данным разных центров

Центр	Интервал магнитуд / количество землетрясений					Период наблюдений, дд.мм.гггг
	≤ 3.5	3.6–4.5	4.6–5.0	5.1–6.0	6.1–7.0	
CENC КНР	52	95	16	15	1	22.01.2024–31.01.2024
ИС НАН КР	407	183	27	20	1	22.01.2024–23.01.2024
ССД ФИЦ ЕГС РАН		14	42	12	1	22.01.2024–12.02.2024

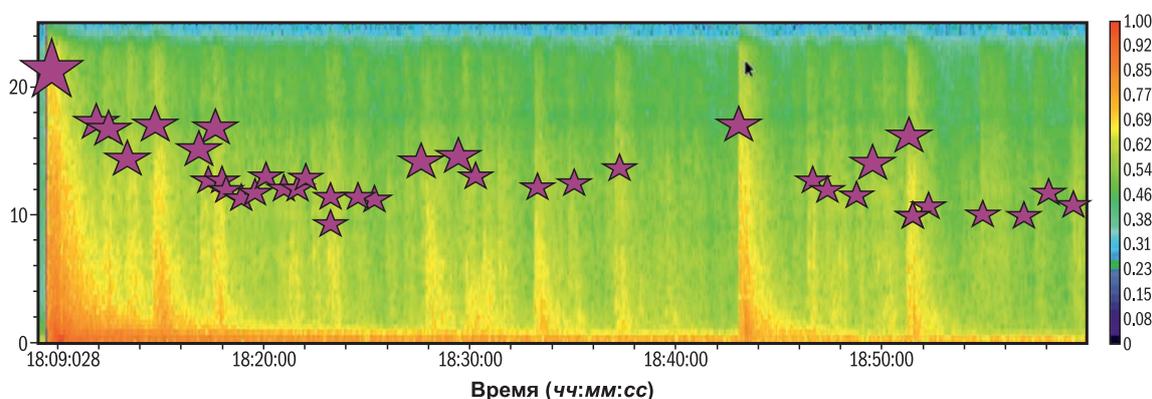


Рис. 8. Спектрограмма первого часа после основного толчка станции KDJ ($\Delta=154$ км) и афтершоки из каталога Института сейсмологии НАН КР

Представительными в каталоге ИС НАН КР являются 520 землетрясений с $2.7 \leq MPV \leq 5.2$. Угол наклона графика повторяемости в этом интервале магнитуд составил $b=0.46$.

«Облако» афтершоков вытянуто в северо-восточном направлении (рис. 9) и имеет поперечные размеры ~ 30 км, продольные — ~ 60 км. Ориентация облака совпадает с ориентацией активных разломов и простирается по плоскостям NPI (табл. 2, рис. 9) механизма очага основного толчка и афтершока 29 января.

Макросейсмические данные

Эпицентр Учтурфанского землетрясения находился в малонаселённом районе, в радиусе 20 км от него расположены пять деревень с малоэтажной застройкой. Благодаря этому обстоятельству и оперативным спасательным мероприятиям сил реагирования на чрезвычайное происшествие, последствия были минимальными. Эпицентральная зона находилась вблизи гра-

ниц трёх стран: КНР, Кыргызстана и Казахстана, в связи с этим макросейсмические проявления наблюдались на обширной территории этих стран.

Кумай. По данным [2024 *Uqturpan earthquake*, 2024], три человека погибли в округе Акчи, шесть человек получили ранения, 47 домов разрушены и ещё 78 получили повреждения. В Кызылсуйском Кыргызском автономном округе, где расположен уезд Акчи, обрушились 93 здания, ещё 851 здание было повреждено, погибло 910 домашних животных. В округе Учтурфан в Йингавати пострадал один человек, обрушилось более 900 хозяйственных построек, были повреждены 1000 домов и мост. Из-за землетрясения было нарушено расписание движения 27 поездов. В некоторых населённых пунктах наблюдались проблемы с электроснабжением. Максимальная интенсивность наблюдалась в сёлах Кулансарак Ак-Чийского района Кыргызской автономной области Кызыл-Суу и Ямансу уезда Учтурфан, округ Аксу.

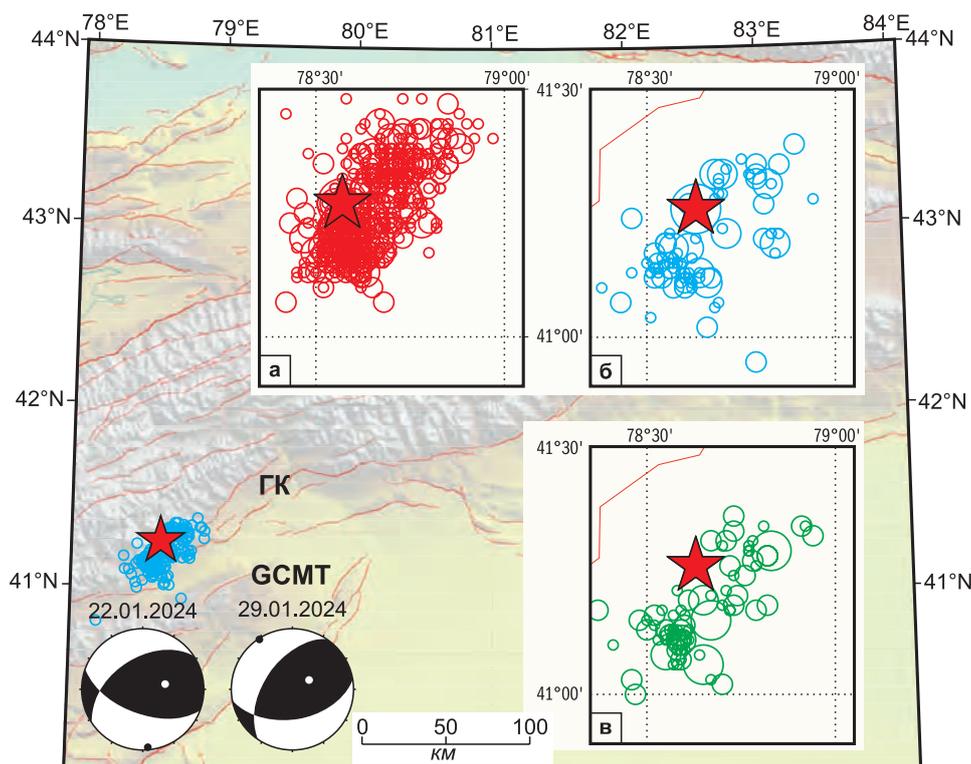


Рис. 9. Положение афтершоков по данным ИС НАН КР (а), CNEC в первые сутки (б) и CNEC за период 23.01.2024 г. по 31.01.2024 г. (в) на фоне карты активных разломов (ГК — Гиссаро-Кокшаальский разлом), и диаграммы механизмов очагов главного толчка 22 января и афтершока 29 января по данным GCMT.

В качестве подложки использована карта активных разломов из актуальной версии базы данных активных разломов Евразии — AFEAD v2022 [Zelenin et al., 2022]

По [China Earthquake ..., 2024] площади областей, оконтуренных изосейстами, составили: 9-балльная зона – 252 км², 8-балльная – 2500 км², 7-балльная – 4506 км², 6-балльная зона – 20668 км². Однако названная карта изолиний интенсивностей построена лишь для Китайской территории и нуждается в уточнении после объединения пунктов-баллов, кроме 9-балльной зоны.

Кыргызстан. По всей стране было повреждено не менее сотни зданий. Сообщалось о нескольких оползнях и камнепадах на дороге между Бишкеком и Торугартом. Наибольшая интенсив-

ность сотрясений наблюдалась в трёх районах Иссык-Кульской области. В частности, в районе г. Каракол (восточный берег Иссык-Куля) интенсивность составила 6 баллов по шкале MSK-64. В районе высокогорного золоторудного месторождения «Кумтор» наблюдалась интенсивность $I=6$ баллов, однако ни сотрудники, ни инфраструктура не пострадали. В ИС НАН КР проведён сбор макросейсмических данных о землетрясении по информации от стационарных операторов, полученной на основе анкетирования, результат представлен в табл. 4.

Таблица 4. Макросейсмические данные Учтурфанского землетрясения 22 января 2024 г. в 18^h09^m с $M_w=7.0$

№	Пункт	φ, °N	λ, °E	Δ, км	Страна	Шкала
9 баллов						
1	Ямансу	41.047	78.760	26	Китай	CEIS20
2	Кулансарак	41.026	78.702	27	Китай	CEIS20
8 баллов						
3	Учтурфан (Уши)	41.212	79.220	48	Китай	CEIS20
4	Йингавати	41.414	79.484	71	Китай	CEIS20
5	Сепабайи	40.972	78.655	32	Китай	CEIS20
7 баллов						
6	Йима	41.346	80.622	165	Китай	CEIS20
7	Куки	41.717	82.967	363	Китай	CEIS20
8	Акчи	40.938	78.445	40	Китай	CEIS20
6 баллов						
9	Кумтор	41.800	78.120	71	Кыргызстан	MSK-64
10	Каракол	42.490	78.390	139	Кыргызстан	MSK-64
11	Вэньсу	41.273	80.241	133	Китай	CEIS20
12	Тумксук	39.867	79.058	159	Китай	CEIS20
13	Аксу	41.179	80.256	134	Китай	CEIS20
14	Кельпин	40.501	79.043	91	Китай	CEIS20
5 баллов						
15	Алматы	43.257	76.9286	263	Казахстан	MSK-64
16	Талгар	43.600	77.260	284	Казахстан	MSK-64
17	Есик	43.350	77.450	252	Казахстан	MSK-64
18	Каскелен	43.200	76.622	273	Казахстан	MSK-64
19	Джелалабад	40.958	73.026	473	Таджикистан	MMI
20	Талды-корган	44.988	78.370	415	Казахстан	MMI
4–5 баллов						
21	Каджи-Сай	43.257	76.9286	142	Кыргызстан	MSK-64
22	Ананьево	43.600	77.260	190	Кыргызстан	MSK-64
23	Нарын	43.350	77.450	213	Кыргызстан	MSK-64
24	Жаны-Куч	43.200	76.622	248	Кыргызстан	MSK-64
25	Боом	40.958	73.026	278	Кыргызстан	MSK-64

№	Пункт	φ, °N	λ, °E	Δ, км	Страна	Шкала
4 балла						
26	Бишкек	42.870	74.590	371	Кыргызстан	MSK-64
3–4 балла						
27	Астана	51.110	71.480	1225	Казахстан	MMI
28	Караганда	49.865	73.094	1049	Казахстан	MMI
3 балла						
29	Ош	40.530	72.790	494	Кыргызстан	MSK-64
30	Душанбе	38.570	68.780	893	Кыргызстан	MMI
31	Талас	42.502	72.261	547	Кыргызстан	MMI
2–3 балла						
32	Барнаул	42.502	72.261	1397	РФ	MSK-64
33	Омск	53.347	83.778	1567	РФ	MSK-64
34	Курган	54.920	73.383	1870	РФ	MSK-64
35	Тюмень	55.650	65.330	1999	РФ	MSK-64
36	Томск	57.150	65.533	1754	РФ	MSK-64
2 балла						
37	Чимкент	42.300	69.600	759	Казахстан	MSK-64

Казахстан. Землетрясение ощущалось на большой территории Казахстана, максимальная интенсивность $I=5$ баллов наблюдалась в г. Алматы и его пригородах. Горздрав сообщил, что после землетрясения за медицинской помощью в стационары Алматы обратились 67 человек с травмами различной степени тяжести, восемь человек были госпитализированы. 24 января по результатам дополнительного обследования объектов жизнеобеспечения и социально значимых объектов на территории Алматинской области обнаружены трещины на 44 объектах, среди них школы и больницы. В ряде зданий трещины достигали 10–15 см в ширину. Повреждения были зафиксированы в жилых постройках в Алмалинском районе г. Алматы. В МЧС сообщили, что землетрясение ощущалось также в г. Астане, в Алматинской, Восточно-Казахстанской, Жамбылской, Карагандинской областях и в области Жетысу.

Россия. По данным ФИЦ ЕГС РАН, на территории Российской Федерации землетрясение ощущалось в Барнауле, Омске, Кургане, Тюмени и Томске с интенсивностью 2–3 балла.

В г. Кургане, на эпицентральной расстоянии 1870 км от эпицентра, жильцы высотных домов ощутили землетрясение, на верхних этажах качались люстры, вещи ходили ходуном. Жильцы нижних этажей слышали треск в стенах, появились трещины в домах. В результате были эвакуированы 246 человек.

В настоящее время многие глобальные сейсмологические центры проводят быстрое он-лайн

анкетирование, на основе этих данных проводится картирование макросейсмических эффектов на всём Земном шаре. Эти данные могут дополнить традиционные методы макросейсмических исследований. Так, по данным Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра, подземные толчки ощущались в Кыргызстане – в Бишкеке интенсивностью 4–5 балла, в Нарыне, Караколе, Оше, Джалал-Абаде – 4 балла; в Узбекистане – в Ташкенте, Андижане – 3–4 балла, в Самарканде, Фергане – 3 балла; в Таджикистане – в Душанбе – 3 балла; в Казахстане – в Астане, Таразе, Караганде, Павлодаре – 3–4 балла, в Усть-Каменогорске – 2–3 балла [Felt report ..., 2024].

Данные, полученные из различных источников, были сопоставлены и сведены в табл. 4, в ней указаны баллы в исходных отчётах по различным шкалам: китайской CEIS20 и международным MSK-64, MMI, и, так как все они – 12-балльные, пересчёт к сквозной характеристике не проводился. На рис. 10 приведена зависимость интенсивности от эпицентрального расстояния, согласно табл. 4. Ниже приведено уравнение регрессии, характеризующее зависимость интенсивности от расстояния для Учтурфанского землетрясения:

$$\lg(I)=1.39779-0.30239\cdot\lg(\Delta),$$

где Δ – эпицентральной расстояние в км, коэффициент корреляции $R=0.90$.

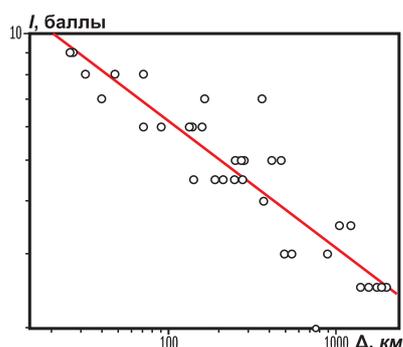


Рис. 10. Зависимость интенсивности от эпицентрального расстояния, согласно табл. 4

Параметры сильных движений

В советское время на территории Центральной Азии в сейсмически активных районах функционировали сети станций сильных движений (СД). Их данные необходимы для разработки норм и правил сейсмостойкого строительства, обеспечения сейсмической безопасности жилых застроек и особо ответственных объектов, для оценки сейсмической опасности. В то время все станции сильных движений для регистрации сильных колебаний при ощутимых и разрушительных землетрясениях в регионе были оснащены аналоговым оборудованием, что сильно затрудняло их обработку. После 1990-х гг. количество станций СД значительно уменьшилось. Первые одиночные цифровые станции сильных движений появились, начиная с середины 1990-х гг., на станциях глобальной сети мониторинга IRIS IDA и IRIS GSN (AAK, MAKZ, KURK, BRVK) [Mikhailova, Sokolova, 2019]. В 2000 г. на территории г. Алматы была развернута сеть станций СД, состоящая из 15 акселерометров. В 2009–2010 гг. совместно с Центром изучения Земли, ФРГ (GFZ), а также согласно Плану сотрудничества CASCADE (Central Asian Cross-border Natural Disaster prevention), в 2009–2010 гг. на территории Центральной Азии были установлены шесть сейсмических станций, оснащённых как велосиграфами, так и акселерометрами [Абдрахматов и др., 2014; Непейна, 2018]. С 2014 г., в рамках проекта ACROSS, ЦАИИЗ (Центрально-Азиатский институт прикладных наук о Земле, Кыргызстан) совместно с GFZ также установил 18 станций СД на территории Кыргызстана [Parolai et al., 2017]. Данные по GSM-каналам поступают в Центр сбора данных ЦАИИЗ, а также в Центр данных EarthScore [Earthquake and educational ..., 2024]. Сеть будет служить основой будущей системы раннего предупреждения землетрясений. В 2019 г. стартовал Международный проект SNECCA «Расширение сейсмической сети на Кавказе и в Цен-

тральной Азии», который направлен на повышение возможностей сейсмического мониторинга, реагирования на землетрясения в странах Центральной Азии и Кавказа, благодаря расширению сейсмических сетей. Все станции, установленные в рамках проекта, оснащены приборами СД. Таким образом, в настоящее время на территории Центральной Азии функционирует достаточно обширная сеть станций СД, благодаря этому сейсмологическими организациями региона проводится обработка данных СД с целью решения задач оценки сейсмической опасности и др.

Для Учтурфанского землетрясения были собраны и обработаны несколько десятков акселерограмм СД на региональных расстояниях. Обработка данных сильных движений осуществлялась при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [Kashima, 2007], которое позволяет проводить визуализацию записи, откалиброванной за характеристики прибора в физических единицах, производить расчёты спектра Фурье и спектра реакции для разных значений затухания, производить дифференцирование и интегрирование записей.

На рис. 11 приведён пример обработки записи Учтурфанского землетрясения 22 января по станции «Ананьево» (ANAN), удалённой от эпицентра на расстояние 182 км. Максимальное ускорение было зарегистрировано на компоненте восток-запад $A_{\max} = 43.4 \text{ см/с}^2$. Полученное ускорение соответствует интенсивности $I=6$ баллов по шкале MSK-64.

Для Учтурфанского землетрясения было обработано 60 записей сильных движений в диапазоне гипоцентральных расстояний от 88 до 2225 км. Самая близкая станция, записи которой обработаны, – «Кумтор» (KU22) из сети мониторинга месторождения, $\Delta=88 \text{ км}$, $A_{\max} = 35.202 \text{ см/с}^2$ для канала EW. Самая далёкая станция – «Арти» (ARTI) из сети IRIS IDA, $\Delta=2225 \text{ км}$, $A_{\max} = 0.2 \text{ см/с}^2$ для канала EW (табл. 5, рис. 12). На рис. 13 представлена зависимость максимальных амплитуд сильных движений PGA (Peak ground acceleration) от эпицентрального расстояния для землетрясения 22.01.2024 г., разбивка на области балльности дана в соответствии с корреляционными отношениями между параметрами колебания грунта и макросейсмическими описаниями эффектов в пунктах размещения сейсмических станций по [Соболев и др., 2000]. Следует отметить, что максимальные значения PGA были зарегистрированы для станций, расположенных вблизи озера Иссык-Куль, что не противоречит макросейсмическим данным, полученным независимым путём.

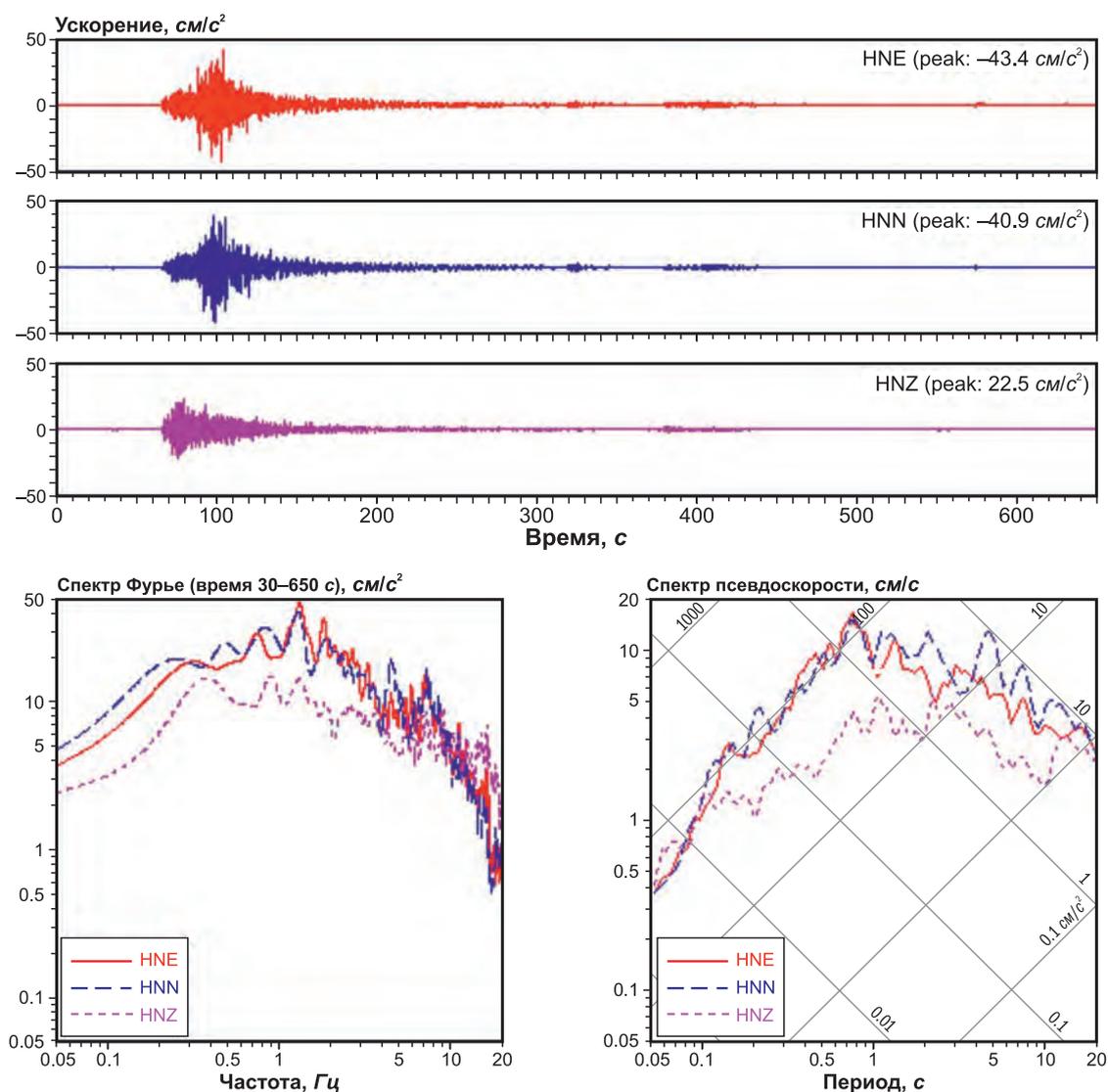


Рис. 11. Результаты обработки данных акселерометра станции «Ананьево» (ANAN).
Расчёт проводился по программе [Kashima, 2007]

Таблица 5. Сведения о сейсмических станциях сильных движений Центральной Азии
и значения «пиковых ускорений грунта»

Код сети	Код станции	φ, °N	λ, °E	Δ, км	PGA (cm/s ²)			T(A _{max})	Тип данных*
					EW	NS	Z		
KR	KU22	41.95	78.07	88	35.2	18.2	31.1	0.14	
AD	KZSU	42.34	78.01	130	35.3	31.4	26.9	0.3	
KR	PRZ	42.50	78.40	138	10.1	11.5	8.6	0.21	
AD	KKOL	42.50	78.39	139	37.8	37.6	30.6	0.21	
KR	KDJ	42.13	77.19	154	17.3	15.2	10.4	0.18	
AD	KADJ	42.14	77.18	156	30.7	29.6	15.8	0.5	
AD	ANAN	42.74	77.67	182	43.4	40.9	22.5	0.8	
AD	TMCH	42.56	76.66	219	25.6	30.7	12.7	0.3	
KR	NRN	41.42	75.97	224	9.8	10.4	7.9	0.41	D
QZ	SHLS	43.16	79.89	234	16.5	20.0	9.8	0.45	D
KZ	PDGK	43.33	79.48	239	11.3	9.6	8.2	0.33	
QZ	TLG	43.25	77.22	249	3.5	2.8	2.9	0.5	
KR	JNK	41.05	75.63	254	12.2	13.4	8.0	0.5	

Код сети	Код станции	φ, °N	λ, °E	Δ, км	PGA (см/с ²)			T(A _{max})	Тип данных*
					EW	NS	Z		
KR	BOOM	42.49	75.94	262	6.1	6.1	4.2	0.7	D
AD	KCHK	42.21	75.75	262	24.7	23.1	15.4	0.8	
KZ	KNDC	43.22	76.97	274	19.8	11.7	10.0	0.4	
AD	TKMK	42.84	75.28	328	18.8	17.7	8.2	0.7	
AD	CHAK	41.93	74.52	351	28.2	22.2	14.4	1.3	
KR*	ARLS	41.85	74.34	365	6.0	7.9	4.9	0.6	
KR	FRU1	42.81	74.63	374	3.6	4.3	2.3	0.8	D
II	AAK	42.64	74.49	376	8.8	4.3	3.7	0.73	D
AD	JANJ	43.11	74.38	407	27.9	16.1	4.8	1.1	
KR	SALK	40.89	73.81	408	2.9	1.7	2.1	0.6	
AD	AKSU	42.83	74.11	413	10.3	7.6	5.9	3.0	
QZ	TDK	45.00	78.40	416	4.2	3.3	2.7	0.4	
AD	KAKU	40.64	73.59	431	5.9	5.5	3.2	2.0	
AD	KAYN	42.83	73.68	445	22.2	18.1	9.2	1.8	
AD	GLHA	40.32	73.44	451	3.5	4.4	1.8	1.5	
KR	SFK	40.02	73.51	456	2.6	2.0	1.7	1.3	
AD	OKTR	41.05	73.11	464	2.8	2.7	2.2	1.5	
KR	ARSB	41.33	72.97	474	2	2.6	1.6	1.8	
KR	TOKL	41.98	72.87	487	1.9	1.7	1.3	0.32	
KR	OHH	40.52	72.79	500	1	1.2	1.1	1.5	
AD	NKAT	40.23	72.67	516	4.4	4.8	2.7	1.0	
AD	MLSU	41.27	72.47	516	5.9	3.3	4.7	1.1	
KR	MNAS	42.49	72.50	527	0.9	1.1	1.0	2.3	
AD	TALS	42.52	72.25	547	7.7	8.0	4.4	1.0	
KR	ARK	41.78	71.96	559	0.5	0.6	0.6	0.9	
AD	KYZA	40.26	72.13	561	7.0	2.2	1.1	2.0	
QZ	BTLS	45.04	74.05	561	0.8	1.3	0.7	1.2	D
KR	DRK	39.48	71.80	613	1.4	1.9	1.0	0.5	
KR	KRVK	42.68	71.42	618	0.9	1.1	0.6	1.2	
KR	TRKS	41.47	71.17	625	0.6	0.5	0.4	1.2	
QZ	DJB	42.89	71.33	630	2.0	2.6	1.3	1.2	
IU	MAKZ	46.81	81.98	671	0.3	0.4	0.7	2.5	
KR	BTK	40.06	70.82	674	0.7	0.8	0.6	1.9	
QZ	JBGS	42.43	70.48	689	0.4	0.6	0.4	2.1	
QZ	CHM	42.35	69.57	761	2.0	1.5	0.9	1.2	
QZ	ZSN	47.46	84.87	847	0.3	0.3	0.4	1.1	
QZ	ZHTS	40.76	68.29	870	0.6	0.8	0.4	4.0	
II	JZAX	40.09	67.71	931	0.3	0.2	0.3	2.0	D
II	NIL	33.65	73.27	971	0.3	0.4	0.3	5.5	D
QZ	USHN	49.97	82.74	1018	0.2	0.1	0.1	2.3	
QZ	SEM	50.40	80.26	1023	0.4	0.3	0.2	2.5	
II	KURK	50.72	78.62	1050	0.3	0.5	0.4	2.2	D
QZ	BRZS	49.98	72.68	1074	0.2	0.1	0.1	2.7	
QZ	AKST	45.73	62.86	1364	0.2	0.3	0.1	2.3	
II	BORK	53.05	70.32	1451	0.2	0.2	0.2	1.2	D
QZ	ALGA	49.99	57.21	1918	0.2	0.2	0.1	2.5	
II	ARTI	56.39	58.38	2225	0.2	0.1	0.1	11.0	D

Примечание – *Символом «D» обозначены станции с велосиграфами, данные которых были продифференцированы. В столбце «Код сети» даны коды сетей в соответствии с FDSN (International Federation of Digital Seismograph Networks): KR – сеть цифровых станций ИС НАН КР [Kyrgyz Digital Network, 2024], AD – сеть сильных движений по проекту ACROSS, Центрально-Азиатский институт прикладных наук о Земле, Кыргызстан [ACROSS Strong ..., 2024]; QZ – сейсмическая сеть Опытно-методической экспедиции Республики Казахстан [Seismic network ..., 2024]; KZ – сеть Института геофизических исследований (KNDC), Казахстан [Kazakhstan Network ..., 2024]; II – Глобальная сейсмическая сеть IRIS/IDA [Global Seismograph Network – IRIS/IDA, 2024]; IU – Глобальная сейсмическая сеть IRIS/USGS [Global Seismograph Network (GSN – IRIS/USGS), 2024].

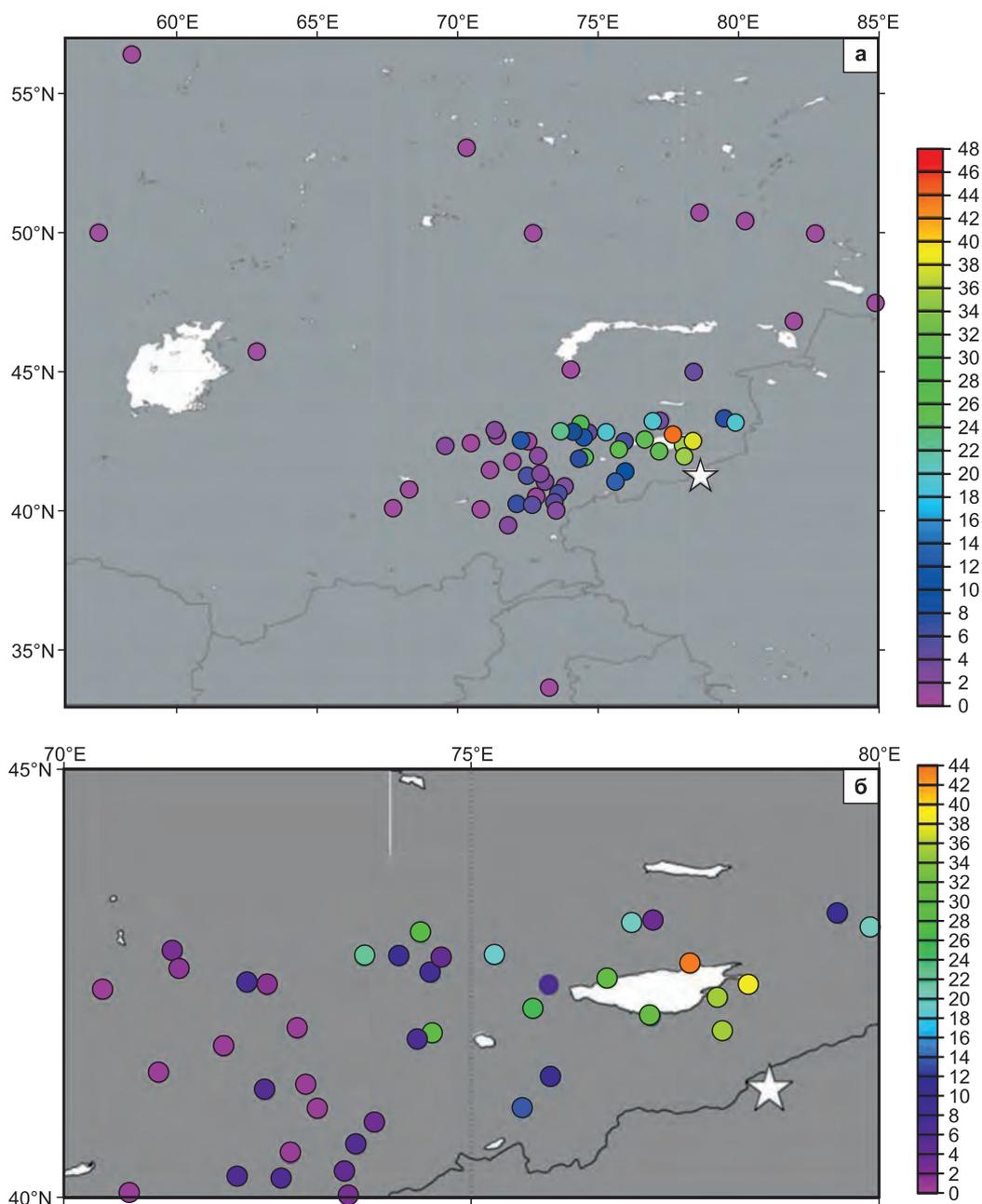


Рис. 12. Карта расположения станций сильных движений, зарегистрировавших землетрясение 22.01.2024 г. (эпицентр – звездочка), и пиковые ускорения грунта на этих станциях: а – PGA записи СД для Центральной Азии; б – PGA для Центрального Тянь-Шаня.

Цветовая шкала соответствует максимальной амплитуде ускорений в $см/с^2$

Заключение

Учтурфанское землетрясение 22.01.2024 г. с $M_w=7.0$ реализовалось в районе Южного Тянь-Шаня (ЮТШ) в Гиссаро-Кокшаальский разломной зоне, отделяющей ЮТШ от Таримской впадины. Складчато-надвиговой пояс ЮТШ является одним из крупнейших коллизионных орогенов Евразии. В работе представ-

лены первые результаты анализа инструментальных, макросейсмических данных, записей сильных движений. Установлено, что ориентация облака афтершоков, зарегистрированных в первые десять дней после основного толчка, совпадает с ориентацией активных разломов и простираем нодальных плоскостей NPI механизма очага основного толчка и афтершока 29 января.

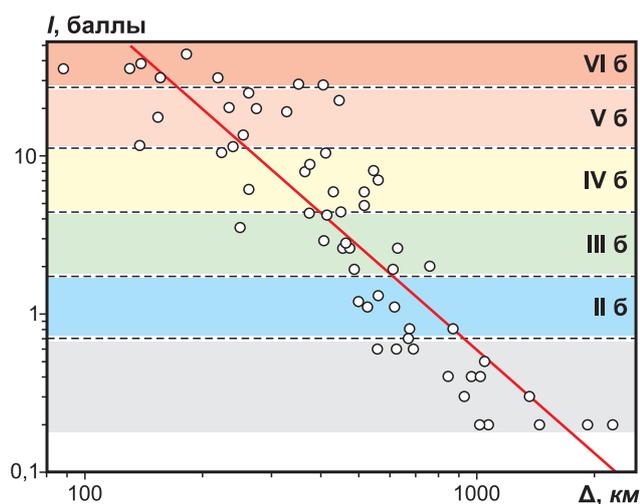


Рис. 13. Зависимость максимальных амплитуд ускорений PGA от эпицентрального расстояния для землетрясения 22.01.2024 г.

Разным цветом показаны корреляционные отношения между параметрами колебания грунта и макросейсмическими описаниями эффектов в пунктах размещения сейсмических станций

В этом районе долгие годы наблюдалось сейсмическое затишье. Учтурфанское землетрясение произошло на удалении порядка 200 км от эпицентра наиболее значительного по энергии Суусамырского землетрясения 19.08.1992 г. с $M_w=7.3$. Многими исследователями отмечается, что для сейсмического режима Тянь-Шаня в период активизации характерно вовлечение больших территорий и проявления серий сильных землетрясений. Начиная с 2013 г., после серии сильнейших Макранских землетрясений в обширном районе Центральной Азии наблюдался рост субгоризонтальных напряжений сжатия, который привёл к ускорению подготовки нескольких сильных землетрясений. Очаги этих землетрясений тяготеют к зонам высокого поглощения S -волн в нижней коре и верхах мантии. Период сейсмической активизации не закончился, могут произойти сильные землетрясения в наиболее подготовленных областях, в том числе и в районе Тянь-Шаня. В связи с этим, в регионе необходимо проводить постоянный мониторинг различных геофизических и геохимических полей с целью среднесрочного прогноза сильных землетрясений.

В последние годы в районе Центральной Азии стали устанавливать цифровые станции сильных движений. Сейсмологическими организациями региона проводится ряд мероприятий по созданию базы данных сильных движений с целью создания в будущем модели затухания ампли-

туд сильных движений, оценки сейсмической опасности и задач сейсмостойкого строительства. Для Учтурфанского землетрясения получено несколько десятков записей сильных движений, которые послужат в будущем основой для изучения сейсмических воздействий в районе Тянь-Шаня.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и при поддержке проекта МНТЦ KR2452 (SNECCA).

Благодарности. Сейсмические данные были загружены через веб-службы IRIS, включая следующие сейсмические сети (<http://ds.iris.edu/mda>): (1) AD (ACROSS Strong Motion Network in Central Asia GFZ); (2) KR (Kyrgyz Digital Network, Kyrgyz Institute of Seismology); (3) QZ Seismic network of the Seismological Experience and Methodology Expedition CS MES RK; (4) KZ Kazakhstan Network (Institute of Geophysical Research, NNC RK); (5) II Global Seismograph Network – IRIS/IDA (Scripps Institution of Oceanography); (6) IU Global Seismograph Network IRIS/GSN (Albuquerque Seismological Laboratory/USGS).

Литература

- Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Першина Е.В., Мозолева Е.Л. Система сейсмического мониторинга территории Кыргызстана // *Вестник Института сейсмологии НАН КР*. – 2014. – № 4. – С. 14–21.
- Абдрахматов К.Е., Томсон С., Уилдон Р., Дельво Д., Клеркс Ж. Активные разломы Тянь-Шаня // *Наука и новые технологии*. – 2001. – № 2. – С. 22.
- Буртман В.С. Геодинамика Тибета, Тарима и Тянь-Шаня в позднем кайнозое // *Геотектоника*. – 2012. – № 3. – С. 18–46. – EDN: OXXIAV
- Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью* / Ред. А.Б. Бакиров. – Бишкек: Илим, 2006. – 116 с.
- Информационное сообщение о сильном землетрясении на границе Китая и Кыргызстана 22 января 2024 г.* // *ФИЦ ЕГС РАН [сайт]*. – URL: <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/RequestsHandler?cmd=toinfmsg&imid=258> (дата обращения 24.01.2024).
- Информация Службы срочных донесений* // *ФИЦ ЕГС РАН [сайт]*. – URL: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения 24.01.2024).
- Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. – М.: Наука, 1985. – 176 с. – EDN: YSXVTK
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. О связи сильных землетрясений в районах Макрана и Центральной Азии: Возможная подготовка сильных сейсмических

- событий в районе Центрального Тянь-Шаня // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 4. – С. 39–45.
- Крестников В.Н., Белоусов Т.П., Ермилин В.И. и др. Четвертичная тектоника Памира и Тянь-Шаня. – М.: Наука, 1979. – 115 с.
- Кучай О.А., Кальметьева З.А., Козина М.Е., Абдрахматов К.Е. Поля напряжений по афтершокам сильнейших землетрясений Тянь-Шаня // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 827–848. – DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0319. – EDN: ZWRGPI
- Мамыров Э. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. – Бишкек: «Инсанат», 2012. – 234 с.
- Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
- Непеина К.С. Сети сейсмических наблюдений в Центральной Азии // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – Вып. 2. – С. 107–115. – DOI: 10.52676/1729-7885-2018-2-107-115
- Пржиялговский Е.С., Рыбин А.К., Морозов Ю.А., Лаврушина Е.В., Леонов М.Г., Баталева Е.А. Геолого-геофизический трансект Срединного Тянь-Шаня через Нарынскую и Атбашинскую впадины // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 1–20. – DOI: 10.5800/GT-2022-13-1-0568. – EDN: BWRWFM
- Синева З.И. Об оценках азимутов и медленности для региональных фаз по данным сейсмической группы PS 23-Маканчи // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – Вып. 2 (22). – С. 46–52.
- Соболев Г.А., Аносов Г.И., Антикаев Ф.Ф., Арефьев С.С., Бесстраинов В.М. и др. Природные опасности России. В 6 томах. Т. 2. Сейсмические опасности / Под ред. Г.А. Соболева. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2000. – 296 с. – EDN: VDJOMZ
- Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) / Отв. ред. В.И. Макаров. – М.: Научный мир, 2005. – 400 с. – EDN: YTRXCS
- Соколова И.Н., Копничев Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии Центрального Тянь-Шаня // Горный журнал Казахстана. – 2004. – № 5. – С. 25–29.
- Шерман С.И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. – 359 с. – EDN: WXGFTJ
- 2024 Uqturpan earthquake // Wikipedia [Site]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/2024_Uqturpan_earthquake#cite_note-24kz-38 (дата обращения 27.01.2024).
- ACROSS Strong Motion Network in Central Asia // GFZ Data Services. Other/Seismic Network [Site]. – DOI: 10.14470/NQ293785 (дата обращения 23.01.2024).
- Bondar I., Mackey K., Berezina A., Mikhailova N., Gok R., Chiang A. Relocation of the Central Asia comprehensive seismic bulletin // Book of abstracts CTBT: Science and Technology Conference 2023. – Vienna, Austria: Hofburg Palace & Online, 2023. – P. 97–98. – URL: <https://conferences.ctbto.org/event/23/book-of-abstracts.pdf>
- Briefing on scientific and technological support for the Wush 7.1 magnitude earthquake in Aksu Prefecture, Xinjiang on January 23, 2024 [Site]. – URL: <https://www.cea-igr.ac.cn/kydt/280467.html> (дата обращения 25.01.2024).
- Burtman V.S., Skobelev S.F., Molnar P. Late Cenozoic slip on the Talas-Ferghana fault, the Tien Shan, Central Asia // Bulletin of the Geological Society of America. – 1996. – V. 108 (8). – P. 1004–1021. – DOI: 10.1130/0016-7606(1996)108<1004:LCSOTT>2.3.CO;2
- China Earthquake Administration (CEA) [Site]. – URL: <https://www.cea.gov.cn/> (дата обращения 26.01.2024).
- China Earthquake Administration releases Xinjiang Wushi earthquake intensity map with a magnitude of 7.1, with the highest intensity being 9 degrees [Site]. – URL: http://news.china.com.cn/2024-01/26/content_116967450.shtml (дата обращения 26.01.2024).
- Chinese seismic intensity scale (GBT17742-2020) [Site]. – URL: <https://www.chinesestandard.net/PDF.aspx/GBT17742-2020> (дата обращения 24.01.2024).
- Dziewonski A.M., Chou T.-A., Woodhouse J.H. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // Journal of Geophysical Research. – 1981. – V. 86. – P. 2825–2852. – DOI: 10.1029/JB086iB04p02825
- Earthquake and educational resources // SAGE [Site]. – URL: <https://www.iris.edu> (дата обращения 27.01.2024).
- Ekström G., Nettles M., Dziewonski A.M. The Global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2012. – V. 200–201. – P. 1–9. – DOI: 10.1016/j.pepi.2012.04.002
- Felt report. Earthquake eyewitnesses. Maps // EMSC. Search earthquakes [Site]. – URL: https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/earthquake_map.php?id=1609312 (дата обращения 27.01.2024).
- Global CMT Catalog Search // Global CMT Web Page [Site]. – URL: <http://www.globalcmt.org>. – Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO) of Columbia University, Columbia, SC, USA, 2024. (Дата обращения 23.01.2024).
- Global Seismograph Network – IRIS/IDA // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/II (дата обращения 23.01.2024).
- Global Seismograph Network (GSN – IRIS/USGS) // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/IU (дата обращения 23.01.2024).
- Kashima T. ViewWave // IISEE [Site]. – URL: <https://iisee.kenken.go.jp/staff/kashima/viewwave.html> (Updated on Feb. 23, 2007).

- Kazakhstan Network* // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/KZ (дата обращения 23.01.2024).
- Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N.* Heterogeneities in the field of short period seismic wave attenuation in the lithosphere of Central Tien Shan // *Journal of Volcanology and Seismology*. – 2007. – V. 1, N 5. – P. 333–348. – DOI: 10.1134/S0742046307050065.
- Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N.* Spatiotemporal variations of the S wave attenuation field in the source zones of large earthquakes in the Tien Shan // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2003. – V. 39, N 7. – P. 568–579. – EDN: LHVEXD
- Kopnichev Y.F., Sokolova I.N.* Activation of seismicity in Central and South Asia after the Makran earthquakes: Possible acceleration of preparation of large seismic events in the Tien Shan region // *Seismic Instruments*. – 2017. – V. 53, Iss. 3. – P. 234–243. – DOI: 10.3103/S0747923917030069
- Kopnichev Y.F., Sokolova I.N.* Variations of the earth's rotation velocity and the geodynamic processes in Central Asia // *Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Sections*. – 1997. – V. 3. – P. 416–419.
- Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N.* Grouping of strong earthquakes in Central Asia: new possibilities of medium-range forecast of seismic events in the Northern Tien Shan region // *Doklady Earth Sciences*. – 2006. – V. 411, N 8. – P. 1324–1326. – DOI: 10.1134/S1028334X06080356. – EDN: LKECVL
- Kyrgyz Digital Network* // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/KR (дата обращения 23.01.2024).
- Mikhailova N.N., Sokolova I.N.* Monitoring System of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // *Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre*. – 2019. – V. 53, Iss. 1. – P. 27–38. – DOI: 10.31905/RK46YGLU
- Parolai S., Boxberger T., Pilz M., Fleming K., Haas M., Pittore M., Petrovic B., Moldobekov B., Zubovich A., Lauterjung J.* Assessing earthquake early warning using sparse networks in developing countries: Case study of the Kyrgyz Republic // *Frontiers in Earth Science. Sec. Geohazards and Georisks*. – 2017. – V. 5. – 74. – DOI: 10.3389/feart.2017.00074
- Quinlan D.* A tutorial for Datascope: The ASIS relational database system. – Boulder, Colorado, USA: Boulder Real Time Technologies, 1998.
- Roecker S.* Constrains of the crust and upper mantle of the Kyrgyz Tien Shan from the preliminary analysis of Ghen-giz broad-band seismic data // *Russian Geology and Geophysics*. – 2001. – V. 42, N 10. – P. 1554–1565. – EDN: MQDUGH
- Roecker S.W., Sabitova T.M., Vinnik L.P., Burmakov Y.A., Golvanov M.I., Mamatkanova R., Munirova L.* Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien Shan // *Journal of Geophysical Research*. – 1993. – V. 98, N B9. – P. 15.779–15.795. – DOI: 10.1029/93JB01560
- Seismic network of the Seismological Experience and Methodology Expedition CS MES RK* // International Federation of Digital Seismograph Networks [Site]. – DOI: 10.7914/SN/QZ (дата обращения 23.01.2024).
- Zelenin E.A., Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I.* The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // *Earth System Science Data*. – 2022. – V. 14, N 10. – P. 4489–4503. – DOI: 10.5194/essd-14-4489-2022. – EDN: JDRWYB

Сведения об авторах

Соколова Инна Николаевна, доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: sokolovain@gsras.ru

Габсатарова Ирина Петровна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: ira@gsras.ru

Берёзина Анна Викторовна, зав. Центром обработки данных Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызстан. E-mail: annaberezina8@gmail.com

Аристова Ирина Львовна, ст. науч. сотр. Филиала «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИГИ НЯЦ РК), г. Курчатов, Казахстан. E-mail: i.aristova@kndc.kz

Large earthquake on January 22, 2024 with Mw=7.0 in the south of Tien Shan

© 2024 I.N. Sokolova¹, I.P. Gabsatarova¹, A.V. Beryozina², I.L. Aristova³

¹GS RAS, Obninsk, Russia; ²IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan; ³IGR NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Received February 21, 2024

Abstract The first results of the analysis of instrumental and macroseismic data of the large earthquake, occurred in January 22, 2024 in the area of the Gissar-Kokshaal fault of the Tien Shan, are presented in the paper. The reverse-thrust type of focal mechanisms is dominated in the obtained fault plane solutions of the main shock and the strongest aftershocks. The strike of nodal planes along the fault has been identified, which is coordinated with the northeastern orientation of the aftershock cloud and, in general, with the geodynamic situation of the junction zone of the Tien Shan and the Tarim Basin. The dynamics of the rupture in the source was complex, several sub-events with different energies were presumably identified. This was reflected in the discrepancy between the parameters of the hypocenters, especially depth, in the solutions of different seismological centers. The dependence of the intensity in points on the distance for this earthquake was received. An analysis of records from strong motion instruments based on data from corresponding stations in Central Asia showed that the highest amplitudes of PGA accelerations equal to 30–43 cm/s² correspond to an intensity of 6 points and were registered for distance from 88 to 182 km from the epicenter.

Keywords Large earthquake, Tien Shan, focal mechanism, aftershocks, strong motions, intensity.

For citation Sokolova, I.N., Gabsatarova, I.P., Beryozina, A.V., & Aristova, I.L. (2024). [Large earthquake on January 22, 2024 with Mw=7.0 in the south of Tien Shan]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 6(1), 42-64. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.1.03>. EDN: KHSGBI

Reference

2024 Uqturpan earthquake. (2024). *Wikipedia*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/2024_Uqturpan_earthquake#cite_note-24kz-38

Abdrakhmatov, K.E., Berezina, A.V., Pershina, E.V., & Mozoleva, E.L. (2014). [Seismic monitoring system of the territory of Kyrgyzstan]. *Vestnik Instituta seismologii NAN KR* [Bulletin of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic], 4, 14-21. (In Russ.).

Abdrakhmatov, K.E., Thomson, S., Wheeldon, R., Delvaux, D., & Clerks, J. (2001). [Active faults of the Tien Shan]. *Nauka i novye tekhnologii* [Science and new technologies], 2, 22. (In Russ.).

Albuquerque Seismological Laboratory/USGS. (2014). *Global Seismograph Network (GSN – IRIS/USGS)* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. DOI: 10.7914/SN/IU

Bakirov, A.B. (Ed.). (2006). *Zemnaia kora i verkhniaia mantiia Tian'-Shania v sviazi s geodinamikoi i seismichnost'iu* [The Earth's crust and the upper mantle of the Tien Shan in connection with geodynamics and seismicity]. Bishkek, Kyrgyzstan: Ilim Publ., 116 p. (In Russ.).

Bondar, I., Mackey, K., Berezina, A., Mikhailova, N., Gok, R., & Chiang, A. (2023). Relocation of the Central Asia comprehensive seismic bulletin. In *Book of abstracts CTBT: Science and Technology Conference 2023* (pp. 97-98). Vienna, Austria: Hofburg Palace & Online. Available at: <https://conferences.ctbto.org/event/23/book-of-abstracts.pdf>

Briefing on scientific and technological support for the Wushi 7.1 magnitude earthquake in Aksu Prefecture, Xinjiang on January 23, 2024. (2024). Retrieved from <https://www.cea-igp.ac.cn/kydt/280467.html>

Burtman, V.S. (2012). [Geodynamics of Tibet, Tarim and Tien Shan in the Late Cenozoic]. *Geotektonika* [Geotectonics], 3, 18-46. (In Russ.). EDN: OXXIAV

Burtman, V.S., Skobelev, S.F., & Molnar, P. (1996). Late Cenozoic slip on the Talas-Ferghana fault, the Tien Shan, Central Asia. *Bulletin of the Geological Society of America*, 108(8), 1004-1021. DOI: 10.1130/0016-7606(1996)108<1004:LCSOTT>2.3.CO;2

China Earthquake Administration (CEA). (2024). Retrieved from <https://www.cea.gov.cn/>

China Earthquake Administration releases Xinjiang Wushi earthquake intensity map with a magnitude of 7.1, with the highest intensity being 9 degrees. (2024).

- Retrieved from http://news.china.com.cn/2024-01/26/content_116967450.shtml
- Chinese seismic intensity scale (GBT17742-2020). (2024). Retrieved from <https://www.chinesestandard.net/PDF.aspx/GBT17742-2020>
- Dziewonski, A.M., Chou, T.-A., & Woodhouse, J.H. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *Journal of Geophysical Research*, 86, 2825-2852. DOI: 10.1029/JB086iB04p02825
- Earthquake and educational resources. (2024). SAGE. Retrieved from <https://www.iris.edu>
- Ekström, G., Nettles, M., & Dziewonski, A.M. (2012). The Global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200–201, 1-9. DOI: 10.1016/j.pepi.2012.04.002
- Felt report. Earthquake eyewitnesses. Maps. (2024). EMSC. Search earthquakes. Retrieved from https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/earthquake_map.php?id=1609312
- Global CMT Web Page. (2024). *Global CMT Catalog Search*. Retrieved from <http://www.globalcmt.org>
- Helmholtz Zentrum Potsdam (GFZ), Germany. (2018): *ACROSS Strong Motion Network in Central Asia*. GFZ Data Services. Other/Seismic Network. DOI: 10.14470/NQ293785
- Information message about a strong earthquake on the border of China and Kyrgyzstan on January 22, 2024. (2024). *GS RAS*. Retrieved from <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/faces/imdetails.xhtml>
- Kashima, T. *ViewWave*. (2007). *IISEE*. Available at: <https://iisee.kenken.go.jp/staff/kashima/viewwave.html>
- KNDC/Institute of Geophysical Research (Kazakhstan). (1994). *Kazakhstan Network* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. DOI: 10.7914/SN/KZ
- Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (1997). Variations of the earth's rotation velocity and the geodynamic processes in Central Asia. *Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Sections*, 3, 416-419.
- Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2017). Activation of seismicity in Central and South Asia after the Makran earthquakes: Possible acceleration of preparation of large seismic events in the Tien Shan region. *Seismic Instruments*, 53(3), 234-243. DOI: 10.3103/S0747923917030069
- Kopnichev, Yu.F. *Korotkoperiodnye seismicheskie volnovye polia* [Short-period seismic wave fields]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 176 p. (In Russ.). EDN: YSXBTk
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2003). Spatio-temporal variations of the S wave attenuation field in the source zones of large earthquakes in the Tien Shan. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 39(7), 568-579. EDN: LHVEXD
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2006). Grouping of strong earthquakes in Central Asia: New possibilities of medium-range forecast of seismic events in the Northern Tien Shan region. *Doklady Earth Sciences*, 411(8), 1324-1326. DOI: 10.1134/S1028334X06080356. EDN: LKECVL
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2007). Heterogeneities in the field of short period seismic wave attenuation in the lithosphere of Central Tien Shan. *Journal of Volcanology and Seismology*, 1(5), 333-348. DOI: 10.1134/S0742046307050065. EDN: LKOFGD
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2014). [On the connection of strong earthquakes in the regions of Makran and Central Asia: Possible preparation of strong seismic events in the Central Tien Shan region]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], 4, 39-45. (In Russ.).
- Krestnikov, V.N., Belousov, T.P., Ermilin, V.I. et al. (1979). *Chetvertichnaia tektonika Pamira i Tian'-Shania* [Quaternary tectonics of Pamir and Tien Shan]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 115 p. (In Russ.).
- Kuchay, O.A., Kalmet'eva, Z.A., Kozina, M.E., & Abdrakhmatov, K.Ye. (2017). [Stress fields revealed by aftershocks of the strongest earthquakes of Tien Shan]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics & Tectonophysics], 8(4), 827-848. DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0319. EDN: ZWRGPJ
- Kyrgyz Institute of Seismology, KIS. (2007). *Kyrgyz Digital Network* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. DOI: 10.7914/SN/KR
- Last Earthquake (by Alert Service). (2024). *GS RAS*. Retrieved from http://www.ceme.gsras.ru/new/eng/ssd_news.htm
- LTD Seismological Experience and Methodology Expedition of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. (2003). *Seismic network of the Seismological Experience and Methodology Expedition CS MES RK* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. DOI: 10.7914/SN/QZ
- Makarov, V.I. (Ed.) (2005). *Sovremennaiia geodinamika oblastei vnutrikontinental'nogo kollizionnogo gorobrazovaniia (Tsentral'naia Azia)* [Modern geodynamics of areas of intracontinental collision mountain formation (Central Asia)]. Moscow, Russia: Nauchnyi Mir Publ., 400 p. (In Russ.). EDN: YTRXCJ
- Mamyrov, E. (2012). *Zemletriaseniia Tian'-Shania: magnituda, seismicheskii moment i energeticheskii klass* [Tien Shan earthquakes: magnitude, seismic moment and energy class]. Bishkek, Kyrgyzstan: Insanat Publ., 234 p. (In Russ.).
- Medvedev, S.V., Sponheuer, W., & Karnik, V. (1965). *Shkala seismicheskoi intensivnosti MSK-64* [Seismic

- Intensity Scale MSK-64]. Moscow, Russia: Interdepartmental Geophysical Commission of the USSR Acad. Sci. Publ., 11 p. (In Russ.).
- Mikhailova, N.N., & Sokolova, I.N. (2019). Monitoring System of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. *Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre*, 53(1), 27-38. DOI: 10.31905/RK46YGLU
- Nepeina, K.S. (2018). [Networks of seismic observations in Central Asia]. *Vestnik NIATs RK* [Bulletin of the National Research Center of the Republic of Kazakhstan], 2, 107-115. (In Russ.). DOI: 10.52676/1729-7885-2018-2-107-115
- Parolai, S., Boxberger, T., Pilz, M., Fleming, K., Haas, M., Pittore, M., Petrovic, B., Moldobekov, B., Zubovich, A., & Lauterjung, J. (2017). Assessing earthquake early warning using sparse networks in developing countries: Case study of the Kyrgyz Republic. *Frontiers in Earth Science*, 5, 74. DOI: 10.3389/feart.2017.00074
- Przhiyalgovskii, E.S., Rybin, A.K., Morozov, Yu.A., Lavrushina, E.V., Leonov, M.G., & Bataleva, E.A. (2022). [Geological and geophysical transect of the Middle Tien Shan across the Naryn and Atbashi depressions]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics & Tectonophysics], 13(1), 0568. (In Russ.). DOI: 10.5800/GT-2022-13-1-0568. EDN: BWRWFM
- Quinlan, D. (1998). *A tutorial for Datascope: The ASIS relational database system*. Boulder, Colorado, USA: Boulder Real Time Technologies.
- Roecker, S. (2001). Constrains of the crust and upper mantle of the Kyrgyz Tien Shan from the preliminary analysis of Ghengiz broad-band seismic data. *Russian Geology and Geophysics*, 42(10), 1554-1565. EDN: MQDUGH
- Roecker, S.W., Sabitova, T.M., Vinnik, L.P., Burmakov, Y.A., Golvanov, M.I., Mamatkanova, R., & Mu-nirova, L. (1993). Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien Shan. *Journal of Geophysical Research*, 98(B9), 15.779–15.795. DOI: 10.1029/93JB01560
- Scripps Institution of Oceanography. (1986). *Global Seismograph Network – IRIS/IDA* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. DOI: 10.7914/SN/II
- Sherman, S.I. (2014). *Seismicheskii protsess i prognoz zemletriasenii: tektonofizicheskaia kontseptsia* [Seismic process and earthquake prediction: a tectonophysical concept]. Novosibirsk, Russia: Academic Publ. House “Geo”, 359 p. (In Russ.). EDN: WXGFTJ
- Sineva, Z.I. (2005). [Azimuth and slowness estimates for regional phases according to the PS 23-Makanchi seismic group]. *Vestnik NIATs RK* [NNC RK Bulletin], 2(22), 46-52. (In Russ.).
- Sobolev, G.A., Anosov, G.I., Aptikayev, F.F., Arefyev, S.S., Fearless, V.M. et al. (2000). *Prirodnye opasnosti Rossii. V 6 tomakh. T. 2. Seismicheskie opasnosti. Red. G.A. Sobolev* [Natural hazards of Russia. In 6 vol. Vol. 2. Seismic hazards. Ed. G.A. Sobolev]. Moscow, Russia: KRUK Publishing Company, 296 p. (In Russ.). EDN: VDJOMZ
- Sokolova, I.N., & Kopnichev, Yu.F. (2004). [Inhomogeneities of the transverse wave absorption field in the Earth's crust and upper mantle of the Central Tien Shan]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana* [Mining Journal of Kazakhstan], 5, 25-29. (In Russ.).
- Zelenin, E.A., Bachmanov, D.M., Garipova, S.T., Trifonov, V.G., & Kozhurin, A.I. (2022). The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): The ontology and design behind the continental-scale dataset. *Earth System Science Data*, 14(10), 4489-4503. DOI: 10.5194/essd-14-4489-2022. EDN: JDRWYB

Information about authors

Sokolova Inna Nikolayevna, Dr., Chief Researcher, Head of the Laboratory of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: sokolovain@gsras.ru

Gabsatarova Irina Petrovna, PhD, Leading Researcher of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: ira@gsras.ru

Beryozina Anna Viktorovna, Head of the National Data Center of the Institute of Seismology of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic (IS NAS KR), Bishkek, Kyrgyzstan. E-mail: annaberezina8@gmail.com

Aristova Irina L'ovvna, Senior Researcher of the Branch “Institute of Geophysical Research” of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (IGR NNC RK), Kurchatov, Kazakhstan. E-mail: i.aristova@kndc.kz