

УДК 550.348

## Опыт использования программы OpenQuakeEngine для вероятностной оценки сейсмической опасности территории Баткенской области Кыргызстана

© 2025 г. К.Е. Абдрахматов, А.Г. Фролова, Е.В. Першина, А.В. Берёзина

ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Поступила в редакцию 29.09.2025 г.

**Аннотация.** Дано краткое описание сейсмичности Баткенской области и прилегающих к ней районов. Рассмотрены методика и этапы выполнения вероятностной оценки сейсмической опасности для этой территории с использованием программного обеспечения OpenQuakeEngine. Результаты представлены в виде пиковых и спектральных ускорений грунта и параметров дезагрегации.

**Ключевые слова:** сейсмическая опасность, активные разломы, площадные источники, пиковые и спектральные ускорения грунта, дезагрегация.

**Для цитирования:** Абдрахматов К.Е., Фролова А.Г., Першина Е.В., Берёзина А.В. Опыт использования программы OpenQuakeEngine для вероятностной оценки сейсмической опасности территории Баткенской области Кыргызстана // Российский сейсмологический журнал. – 2025. – Т. 7, № 4. – С. 17–26. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.02>. – EDN: DALLGT

Баткенская область расположена на юго-западе Кыргызстана, занимая часть Ферганской впадины на севере и простираясь до склонов Алайских гор на востоке и Туркестанского хребта на западе. Достаточно высокая сейсмичность этой области связана с её тектонической активностью. Земная кора находится в постоянном, хоть и медленном движении: какая-то часть её поднимается, какая-то – опускается. На глубине залегания палеозойского фундамента Ферганской впадины делится на две части – северную и южную. Со среднего плейстоцена произошла дифференциация северной части впадины: северная её зона включилась в общее региональное поднятие, сформировав полосу адыров (низких предгорий). Центрально-Ферганская зона до сих пор сохранила отрицательный знак тектонических движений. Южная часть впадины включилась в общее региональное поднятие с начала плейстоцена [Чедия, 1986].

Тектонически активной является приграничная горная система Памиро-Алая и, как следствие, высокая современная и историческая сейсмичность этого района. По данным исследований [Patyniak *et al.*, 2020; Абдрахматов, 2021], только в Алайской впадине обнаружены следы, по крайней мере, шести сильных землетрясений

с проявлением сейсмотектонических деформаций, произошедших за последние 10 тыс. лет.

Летописные источники о сейсмичности Баткенской области и её окружения очень скучны: в 838–839 гг. н.э. произошло 8-балльное землетрясение в районе г. Ферганы. Ориентировочно в 1822–1823 гг. был разрушен г. Коканд [Семёнов, 1958]. Более поздние данные уже имеют точную дату событий. На западе области 28 ноября 1888 г. произошло Костакозское землетрясение с энергетическим классом  $K_p \sim 15.3$ , которое сопровождалось многочисленными афтершоками. Такой же энергии было и Гарданское землетрясение 28 декабря 1923 г. в приграничном Таджикистане. Вблизи южной границы Баткенской области на территории Таджикистана 10 июля 1949 г. произошло катастрофическое Хайтское землетрясение с  $K_p = 17.0$ , в результате которого погибло 20 тыс. человек и был уничтожен одноименный посёлок. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками [Сейсмичность Узбекистана, 1961; Введенская, 1962; Новый каталог ..., 1977].

Непосредственно на территории Баткенской области самым сильным современным сейсмическим событием стало 8-балльное Исфара-Баткенское землетрясение, произошедшее

31 января 1977 г. с  $K_p=15.5$ . Эпицентр его расположен в 8 км к северо-востоку от г. Баткена вблизи Сулюктинского разлома. По описанию очевидцев, основному толчку предшествовал подземный гул и свечение над горизонтом. Сильно пострадали ближайшие населённые пункты. Землетрясение ощущалось на территории Кыргызстана, Таджикистана, на значительной площади Узбекистана, в юго-западных районах Казахстана и сопровождалось многочисленными афтершоками [Новый каталог ..., 1977; Калмурзаев и др., 1977; Камчыбеков и др., 2023; Гребенникова и др., 2024].

Согласно последним картам сейсмического районирования Кыргызстана, на территории Баткенской области возможны землетрясения 8- и 9-балльной интенсивности [Абдрахматов и др., 2011; Абдрахматов и др., 2018]. Эти карты построены на основе комплексного подхода с использованием сейсмических, сейсмотектонических и геофизических данных и являются детерминистскими. Детерминистская оценка сейсмической опасности определяет величину сейсмических воздействий при максимально возможном землетрясении с большим периодом повторяемости: для гражданских и промышленных сооружений – один раз в 2500 лет, для ответственных сооружений – один раз в 10 тыс. лет. Этот метод позволяет оценивать возможную сейсмическую опасность не только тех структур, которые уже испытали оживление или вновь возникли в последние 30 млн. лет, но и тех, активизация которых возможна при данной тенденции развития процессов неотектоники. Последнее обстоятельство позволяет прогнозировать вероятность активизации древних разломов в тех районах, где неотектонические процессы в рельефе проявлены слабо или совсем не выражены [Джанабилова, Абдрахматов, 2017]. В то же время детерминистская оценка сейсмической опасности в баллах шкалы MSK-64 не отвечает нуждам сейсмостойкого строительства. В случае представления детерминистской карты в пиковых ускорениях грунта используются очень приближённые формулы пересчёта от балльности [Абдрахматов и др., 2018].

В отличие от детерминистского, вероятностный подход оценивает сейсмическую опасность в физических параметрах колебаний грунта, которые используются в расчётах на сейсмостойкость зданий и сооружений. При этом он позволяет учитывать случайности и неопределённости ряда параметров, влияющих на уровень сейсмических воздействий. Однако вероятностный подход не является идеальным во всех отноше-

ниях. Он имеет свои проблемы, в частности, отсутствие в исследуемом районе достаточного количества записей сильных землетрясений, что приводит к приближённым оценкам сейсмической опасности [Kossobokov, Nekrasova, 2012]. По-видимому, объединение этих двух подходов – детерминистского и вероятностного – позволит более точно и детально решить эту задачу.

Оценка сейсмической опасности Баткенской области и приграничных районов на вероятностной основе с помощью программы OpenQuakeEngine [Pagani et al., 2014] стала возможной благодаря опыту, полученному в результате участия Института сейсмологии НАН КР в проекте Международного научно-технического центра (МНТЦ (ISTC)), № 2398. Основные данные, которые заложены в программу, – источники землетрясений в виде очаговых зон и активных разломов и модель затухания пиковых ускорений грунта. На начальном этапе авторы опробовали саму методику работы с программой, и для построения вероятностных карт использовали только параметры очаговых зон без учёта параметров активных разломов. При этом взаимное влияние сейсмичности и активной тектоники на уровень возможных ускорений колебаний грунта компенсировалось только сейсмичностью за счёт увеличения максимально возможной магнитуды землетрясений для каждой зоны. В окончательном варианте были привлечены данные активных разломов. Таким образом, были использованы два вида источников землетрясений – рассеянная сейсмичность в виде площадных зон и линейные активные разломы. Такой подход позволил учесть как региональные, так и локальные эффекты, связанные с активными тектоническими структурами.

**Активные разломы.** Активными считаются разломы, по которым в течение последних 10 тыс. лет происходили смещения, разломы, способные генерировать сильные землетрясения. Активные разломы, как источники сейсмической опасности, включают в себя определённый набор параметров – это особенности их простирания на карте, сдвиги, геометрия, кинематика, скорости геологического скольжения и др. В настоящем исследовании использовалась информация об активных разломах из базы данных ИС НАН КР.

**Площадные источники** представляют собой зоны рассеянной сейсмичности, не связанные с разломами. Для исследований сейсмичности использован каталог землетрясений Баткенской области и прилегающих районов, как выборка из Каталога землетрясений

ИС НАН КР за период с 1900 по 2021 г. [Абдрахматов и др., 2022]. Выборка из каталога составила порядка 9 тыс. землетрясений в диапазоне магнитуд  $Mw=3.0-7.6$ . Максимальная магнитуда  $Mw=7.6$  относится к катастрофическому Хайтскому землетрясению, произошедшему в 1949 г. на территории соседнего Таджикистана.

По распределению сейсмичности с учётом положения активных разломов выделено 46 зон, большая часть которых находится за пределами Баткенской области. В связи с высокой активностью приграничных, особенно южных районов, где возможны землетрясения с магнитудой  $Mw=7.5-8.0$ , территория исследований была расширена на 100–200 км от границы самой области. Сейсмичность внутри зон предполагалась однородной. В качестве параметров сейсмичности в программу заложены данные графиков Гутенберга-Рихтера, построенных для каждой зоны. Кроме того, для каждой зоны определены преобладающие глубины и параметры механизмов очагов.

При построении графиков повторяемости задаётся максимальное значение магнитуды  $Mw$  для каждой зоны. При создании модели оценки опасности с использованием параметров активных разломов и площадных источников полагают, что зоны вносят свой вклад в опасность землетрясениями меньшей магнитуды, в то время как активные разломы ответственны за опасность от более сильных событий. В качестве минимальной магнитуды практически для всех разломов Кыргызстана принято значение  $Mw=6.5$ . При наличии разлома в конкретной зоне максимальная магнитуда для этой зоны берётся равной  $Mw=6.6$ . В этом случае не будет разрыва между влиянием на опасность обоих источников, а при перекрытии магнитуд – ошибочного увеличения опасности за счёт двойного учёта источников. В том случае, когда в границах зоны нет активного разлома, в качестве максимальной магнитуды берётся максимальная наблюдённая в данной зоне магнитуда.

Для каждой зоны были определены и заложены в программу преобладающие глубины и параметры механизмов очагов землетрясений. Очаги всех использованных в работе землетрясений Кыргызстана и прилегающих районов расположены в пределах земной коры. Исходя из общей проблемы точности определения глубины очага, мы разделили распределение глубин для каждой зоны на три слоя. Для каждого слоя по количеству значений придали определённые веса. Попытка изменить количество слоёв до шести практически не повлияла на конечный

результат, только значительно увеличила время расчётов.

При оценке преобладающих типов подвижек в очагах землетрясений использовались параметры из базы данных Кыргызстана с 1990 по 2018 год. Из всех землетрясений в каждой зоне наибольшее значение придавалось сильным событиям. В качестве параметров рассмотрены: strike – угол простирации плоскости подвижки от направления на север, dip – угол падения плоскости подвижки от горизонтали, rake – угол между вектором подвижки и простиранием.

### **Модели затухания пиковых ускорений грунта**

Аналоговая сеть станций сильных движений, функционировавшая в Кыргызстане с 1970 по 2008 г., была настроена на решение сейсмологических задач и в основном на определение кинематических параметров землетрясений, поэтому большую часть записей составили смещения. За всё время наблюдений получено всего несколько пригодных для анализа записей ускорений. В настоящее время сеть станций сильных движений постепенно возрождается в новом цифровом качестве, но имеющихся данных все ещё недостаточно для получения модели затухания ускорений колебаний грунта по записям землетрясений Кыргызстана. Из-за недостатка данных по сильным движениям расчёт карт в пиковых ускорениях грунта выполнялся на основе моделей затухания, полученных в других регионах. При выборе моделей был выполнен анализ их соответствия имеющимся в наличии экспериментальным данным. В результате предпочтение было отведено следующим пятью моделям затухания пиковых ускорений грунта с определёнными для них весами: [Zhao *et al.*, 2016] – с весом 0.1; [Abrahamson *et al.*, 2014] – с весом 0.225; [Akkar, Bommer, 2010] – с весом 0.225; [Stewart *et al.*, 2016] – с весом 0.225; [Chou, Youngs, 2014] – с весом 0.225.

На затухание сейсмических воздействий большое влияние оказывает строение верхних слоёв земной коры: чем более добротна среда, тем меньше затухание в ней сейсмических волн и тем выше скорости их распространения. В программу были заложены следующие данные о скоростях поперечных волн: на глубине 30 м –  $V_{S30}=800$  м/с, на глубине 100 м –  $V_s=1.0$  км/с, на глубине 5 км –  $V_s=2.5$  км/с. Понятно, что достоверность конечного результата зависит от достоверности входных данных. На начальном этапе для расчётов была использована усреднённая величина  $V_{S30}=500$  м/с, в результате выходные значения ускорений оказались сильно завышенными.

Учитывая тот факт, что большую часть исследуемой территории составляют горы, в конечном варианте взяли  $V_{s30}=800\text{ m/s}$  согласно данным СНиП для скальных грунтов первой категории [СНиП 20-02 2024, 2024].

### Полученные результаты

Перечисленные выше данные были представлены в виде входных файлов программы OpenQuakeEngine. В расчётах использовались все пять моделей затухания, на основании которых, в зависимости от принятых весов, получено среднее решение. Вероятность превышения пиковых ускорений грунта 10% соответствует

периоду повторяемости 475 лет (рис. 1), 2% – 2475 лет (рис. 2).

В пределах рассматриваемой территории значения пиковых ускорений грунта варьируют в широких пределах. Наибольшую опасность представляет южная часть территории, горный район Памиро-Алая. На территории Баткенской области выделяются зона к юго-западу от Баткена и зона между Кадамжаем и Айдарканом, простирающаяся с северо-запада на юго-восток, где ускорения при 10%-ой вероятности превышения составляют 0.450 g, что значительно больше ожидаемых в работе [Абдрахматов и др., 2018].

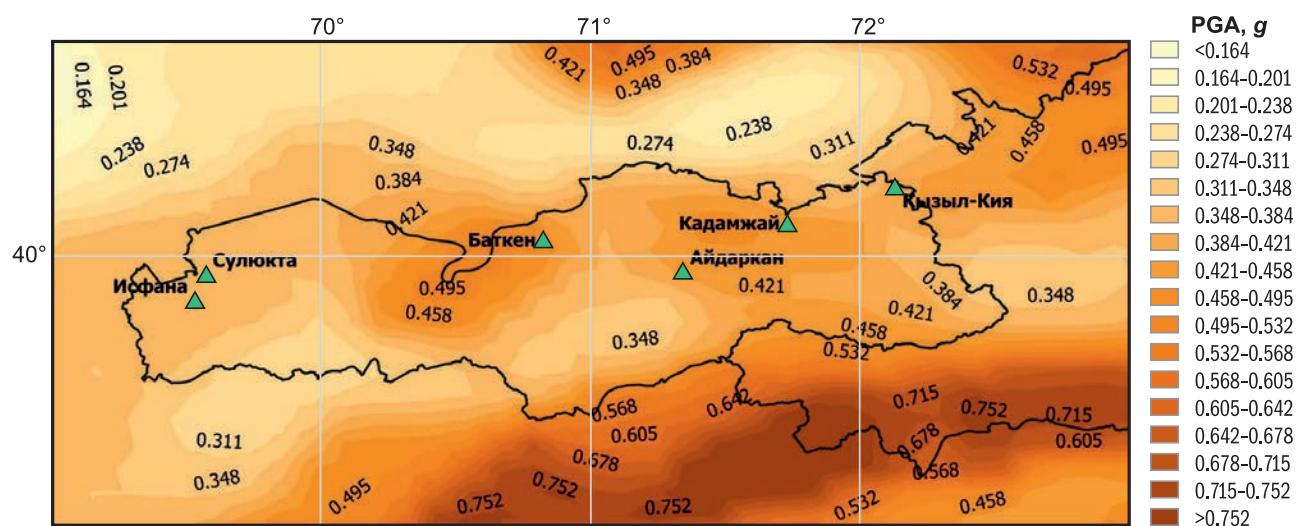


Рис. 1. Карта сейсмической опасности с 10%-ой вероятностью превышения за время ожидания 50 лет в терминах пиковых ускорений грунта

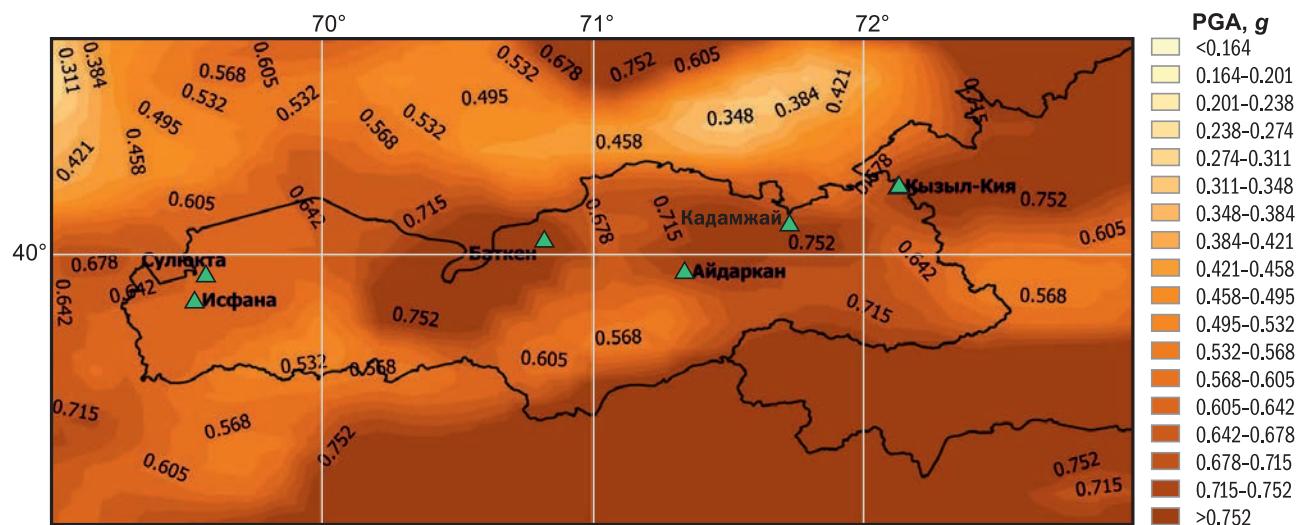


Рис. 2. Карта сейсмической опасности с 2%-ой вероятностью превышения за время ожидания 50 лет в терминах пиковых ускорений грунта

На рис. 3 приведены однородные спектры, а на рис. 4 – среднегодовые кривые опасности для четырёх городов региона: Баткена, Айдарканы, Сулюкты и Кызыл-Кии. Максимальные ускорения для всех городов наблюдаются на периодах 0.1 и 0.2 с. Для Баткена, например, ускорения на этих периодах при 10%-ой вероятности превышения могут достигать  $1.2\text{ g}$  (рис. 3). Среднегодовая вероятность превышения ускорения  $0.1\text{ g}$  для Баткена составляет всего 0.04 (рис. 4).

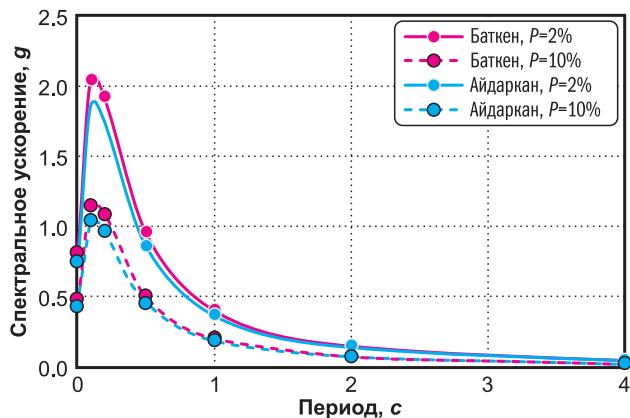


Рис. 3. Однородные спектры для двух городов Баткенской области с вероятностью превышения 2% и 10% за время ожидания 50 лет

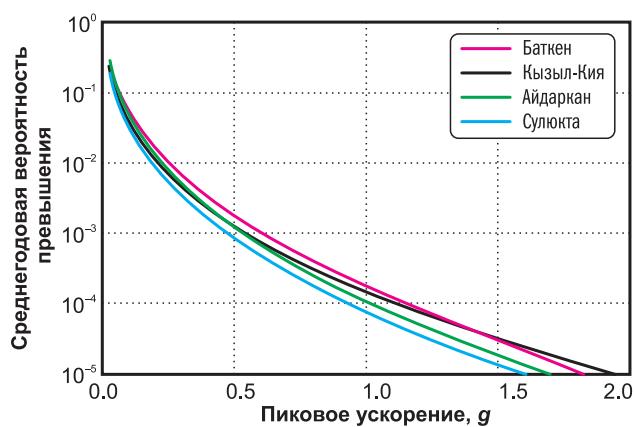


Рис. 4. Среднегодовые кривые опасности для четырёх городов Баткенской области в пиковых ускорениях грунта

Для характеристики степени сейсмической опасности вводится ещё один параметр – дезагрегация. Дезагрегация показывает, какой вклад в сейсмическую опасность для пункта наблюдений вносят землетрясения разной магнитуды и на разном эпицентральном расстоянии. Графики дезагрегации позволяют также разделить влияние на опасность площадных источников как землетрясений меньшей магнитуды,

так и активных разломов, генерирующих более сильные события и за более длительное время наблюдений. Графики дезагрегации для четырёх городов Баткенской области представлены в терминах спектральных ускорений  $SA(0.2)$ ,  $SA(1.0)$  на периодах 0.2 и 1.0 с при 10%-ой вероятности превышения (рис. 5–8).

Для всех городов основной вклад в сейсмическую опасность связан с близкими сейсмическими источниками в пределах первых 40 км. Для г. Баткена вклад в сейсмическую опасность обусловлен в основном рассеянной сейсмичностью на коротких периодах ( $SA(0.2)$ ), не связанной с разломами. При этом на более длинных периодах ( $SA(1.0)$ ) возрастает вклад в опасность более сильных землетрясений с  $Mw=6.2\text{--}6.5$ . Вклад в опасность ближайших разломов – Сулюктинского и Катранского – составляет меньше 1.5% (рис. 5).

Для г. Айдарканы до 2–3% увеличивается вклад активных разломов (ближайшие – Катранский и Северный Хайдарканский), но основная сейсмическая опасность, как и для Баткена, исходит от площадных источников с  $Mw\leq6.5$  (рис. 6).

Вклад в опасность для г. Сулюкты на длинных периодах ( $SA(1.0)$ ) и для больших магнитуд, связанных с разломами (ближайший Сулюктинский разлом), достигает почти 4%, но при этом доминируют площадные источники с магнитудами  $Mw\leq6.5$  (рис. 7).

Графики дезагрегации для г. Кызыл-Кии отличаются от дезагрегации для остальных трёх рассмотренных городов (рис. 8). Для этого города вклад в сейсмическую опасность от ближайших активных разломов значительно больше вклада площадных источников. На расстоянии 6 км к северу от Кызыл-Кии расположен Катарский разлом, и в 2 км к югу проходит Ноокат-Джалпакташский разлом.

## Выводы

На примере Баткенской области рассмотрен метод вероятностной оценки сейсмической опасности с использованием программного обеспечения OpenQuakeEngine. Этот метод предусматривает два вида сейсмических источников – фоновую сейсмичность, представленную в виде зон, и активные разломы, и позволяет оценить вклад каждого из источников в общую сейсмическую опасность. Фоновые источники локальны и приводят к меньшим по энергии, но более частым землетрясениям, и их воздействие сильнее в более короткие периоды наблюдений. Источники, основанные на активных разломах,

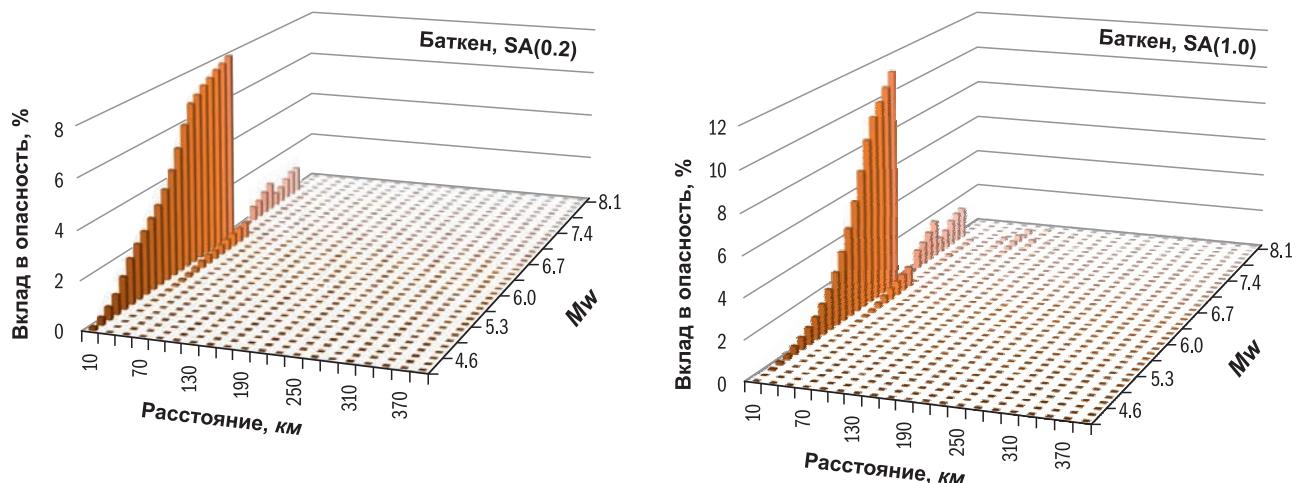


Рис. 5. Графики дезагрегации для г. Баткена в терминах спектральных ускорений SA(0.2) и SA(1.0)

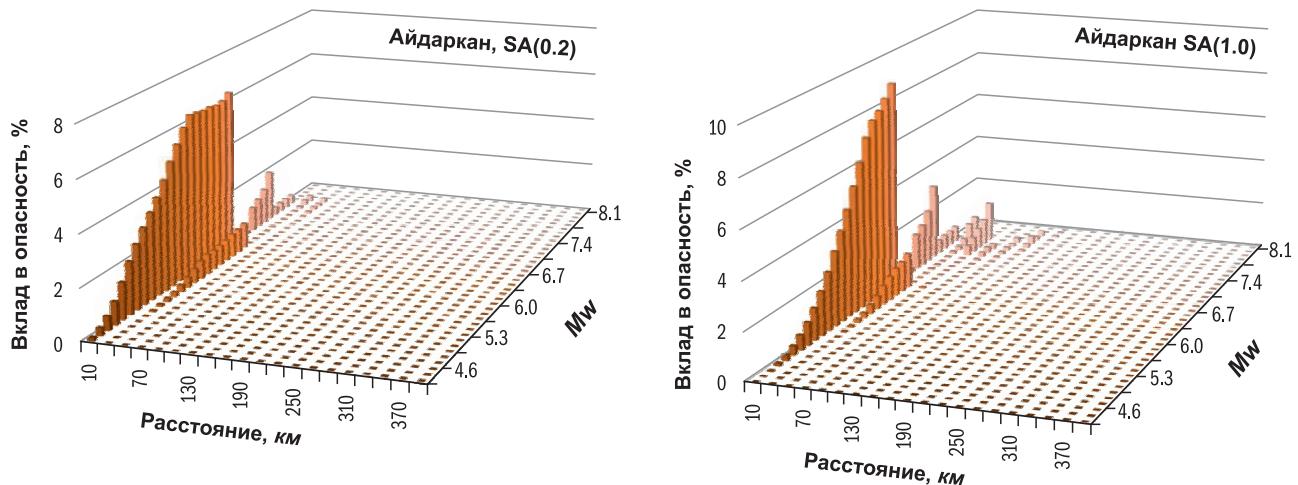


Рис. 6. Графики дезагрегации для г. Айдаркан в терминах спектральных ускорений SA(0.2) и SA(1.0)

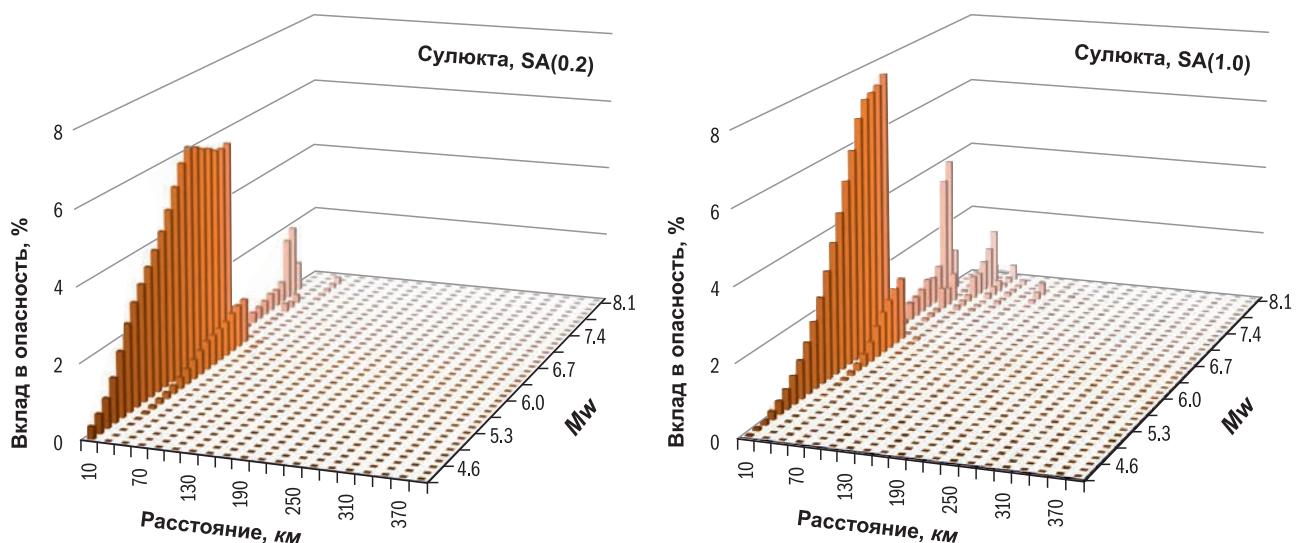


Рис. 7. Графики дезагрегации для г. Сулукты в терминах спектральных ускорений SA(0.2) и SA(1.0)

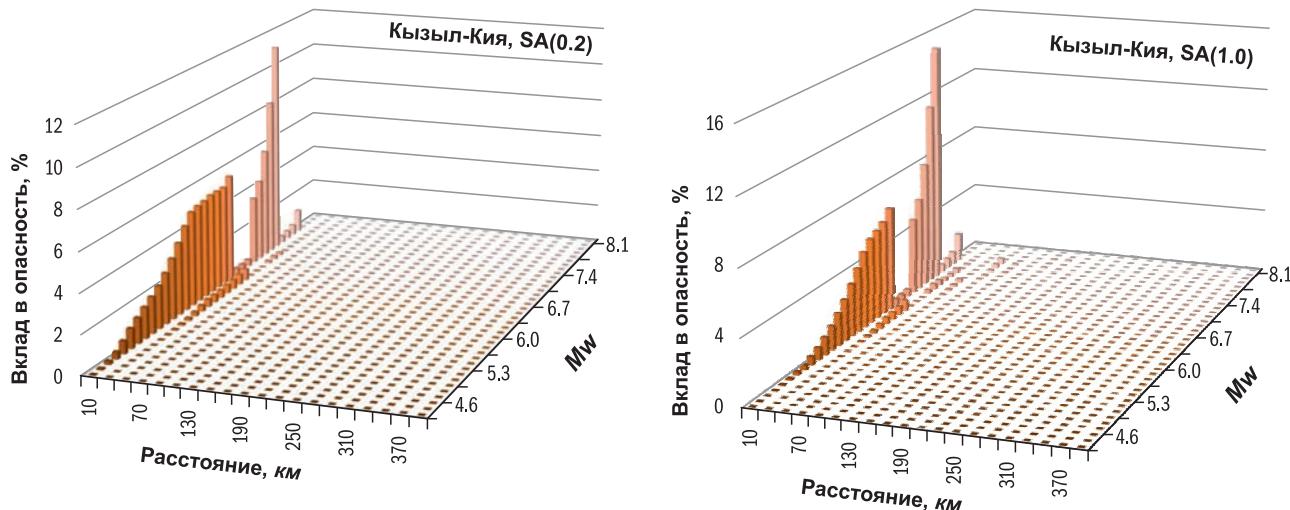


Рис. 8. Графики дезагрегации для г. Кызыл-Кии в терминах спектральных ускорений SA(0.2) и SA(1.0)

связаны с более сильными событиями и могут оказывать региональное воздействие в более длительные периоды.

Для четырёх выбранных городов опасность исходит, в основном, от ближайших сейсмических источников в пределах 40 км. Для Баткена, Айдарканы и Сулюкты основной вклад в опасность связан с площадными источниками с магнитудами  $Mw \leq 6.5$ . И только для Кызыл-Кии вклад в опасность активных разломов значительно превышает вклад площадных источников. Вблизи города расположены Катарский и Ноокат-Джалпакташский разломы.

Получены вероятностные карты Баткенской области и прилегающих районов в пиковых ускорениях грунта, при построении которых использованы оба вида сейсмических источников. На территории Баткенской области высокими значениями пиковых ускорений грунта отличаются зона к юго-западу от Баткена и зона между Кадамжаем и Айдарканом, простирающаяся с северо-запада на юго-восток. При 10%-ой вероятности превышения ускорения там могут достигать  $450 \text{ см}/\text{с}^2$ , что значительно больше ожидаемых в работе [Абдрахматов и др., 2018]. Высокими значениями ускорений отличается горный регион на приграничной территории Таджикистана и Китая.

## Литература

Абдрахматов К.Е. Современные данные о повторяемости сильных землетрясений на территории Тянь-Шаня // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2021. – № 1 (17). – С. 8–15. – URL: [https://journal.seismo.kg/archive/journal\\_2021-17/article2.pdf](https://journal.seismo.kg/archive/journal_2021-17/article2.pdf)

Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В., Уокер Р., Фролова А.Г., Грюннер К., Гребенникова В.В., Першина Е.В., Соколова Н.П., Молдабекова С. Землетрясения Кыргызстана. – Бишкек, Кыргызстан: Издательство научных журналов и детской художественной литературы, 2022. – 205 с.

Абдрахматов К.Е., Джанузаков К.Д., Фролова А.Г., Погребной В.Н. Карта сейсмического районирования Кыргызской Республики. Масштаб 1:1000000. Объяснительная записка. – Бишкек, Кыргызстан: Илим, 2011. – 24 с.

Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А., Захожая Н.Г. Карта интенсивности сотрясений земной поверхности в баллах при вероятных максимальных землетрясениях на территории Кыргызстана. Масштаб 1:1000000. – Бишкек, Кыргызстан: ИС НАН КР, 2018. – URL: [https://seismo.kg/intensity\\_map/intensity\\_map.php](https://seismo.kg/intensity_map/intensity_map.php)

Введенская Н.А. Обобщение сейсмостатистических данных при сейсморайонировании Средней Азии // Труды ИФЗ АН СССР. – 1962. – № 22. – 196 с.

Гребенникова В.В., Исмаилова Ж.Ж., Кулькайыр Т.К. Новые данные по Исфара-Баткенскому землетрясению 31 января 1977 г. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2024. – № 1 (23). – С. 15–28. – URL: [https://journal.seismo.kg/archive/journal\\_2024-23/article3.pdf](https://journal.seismo.kg/archive/journal_2024-23/article3.pdf)

Джанабилова С.О., Абдрахматов К.Е. Методы и подходы, применяемые к оценке сейсмической опасности // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2017. – № 1 (9). – С. 9–18. – URL: [https://journal.seismo.kg/archive/journal\\_2017-9/article1.pdf](https://journal.seismo.kg/archive/journal_2017-9/article1.pdf)

Калмураев К.Е., Кнауф В.И., Юдахин Ф.Н., Джанузаков К.Д., Трофимов А.К. Предварительные результаты изучения Исфара-Баткенского землетрясения 31 января 1977 года // Известия АН Киргизской ССР. – 1977. – № 5. – С. 11–19.

Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Мураталиев Н.М., Камичыбеков Ы.П., Ажисбек К.А. Сильные землетрясения на сопредельных к городу Баткену территориях // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2023. – № 1 (21). – С. 52–58.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – 536 с.

Сейсмичность Узбекистана / Под общ. ред. Е.М. Бутовской. Вып. 1. – Ташкент, Узбекистан: Издательство АН Узб. ССР, 1961. – 98 с.

Семёнов А.А. Перечень землетрясений в Средней Азии и сопредельных с нею странах с древних времён до 1830 года // Труды Института сейсмологии и сейсмостойкого строительства АН Тадж. ССР. Т. 94. – Сталинабад, Тадж. ССР, 1958. – С. 37–52.

СН КР 20-02 2024. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Кыргызская Республика. – Бишкек: Государственное агентство архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства при Кабинете министров Кыргызской Республики, 2024. – 131 с. – URL: <https://eis.su/srostandart/sn-kr-20-02-2024/>

Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. – Фрунзе, Кирг. ССР: Илим, 1986. – 312 с.

Abrahamson N.A., Silva W.J., Kamai R. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions // Earthquake Spectra. – 2014. – V. 30, N 3. – P. 1025–1055. – DOI: 10.1193/070913EQS198M

Akkar S., Bommer J.J. Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region, and the Middle East // Seismological Research Letters. – 2010. – V. 81, N 2. – P. 195–206. – DOI: 10.1785/gssrl.81.2.195

Chiou B., Youngs R.R. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of

peak ground motion and response spectra // Earthquake Spectra. – 2014. – V. 30, N 3. – P. 1117–1153. – DOI: 10.1193/072813EQS219M

Kossobokov V.G., Nekrasova A.K. Global seismic hazard assessment program maps are erroneous // Seismic Instruments. – 2012. – V. 48, Iss. 2. – P. 162–170. – DOI: 10.3103/S0747923912020065

Pagani M., Monelli D., Weatherill G., Danciu L., Crowley H., Silva V., Henshaw P., Butler L., Nastasi M., Panzeri L., Simionato M., Vigano D. OpenQuake engine: An open hazard (and risk) software for the Global earthquake model // Seismological Research Letters. – 2014. – V. 85, N 3. – P. 692–702. – DOI: 10.1785/0220130087

Patyniak M., Landgraf A., Dzhumabaeva A., Williams A.M., Baikulov S., Abdurakhmatov K.E., Arrowsmith J.R., Strecker M.R. Seismic behavior along a fault segment in an active continental collision zone: New paleoseismic and structural data of the Pamir frontal thrust in the Alai valley, Kyrgyzstan, Central Asia // EGU2020 General Assembly Conference Abstracts: Sharing Geoscience Online Session. – EGU, 2020. – A. EGU2020-4599.

Stewart J.P., Boore D.M., Seyhan E., Atkinson G.M. NGA-West2 equations for predicting vertical-component PGA, PGV, and 5%-damped PSA from shallow crustal earthquakes // Earthquake Spectra. – 2016. – V. 32, N 2. – P. 1005–1031. – DOI: 10.1193/072114EQS116M

Zhao J.X., Zhou S., Zhou J., Zhao C., Zhang H., Zhang Y., Gao P., Lan X., Rhoades D., Fukushima Y., et al. Ground-motion prediction equations for shallow crustal and upper-mantle earthquakes in Japan using site class and simple geometric attenuation functions // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2016. – V. 106, N 4. – P. 1552–1569. – DOI: 10.1785/0120150063

### Сведения об авторах

**Абдрахматов Канатбек Ермекович**, член-корр. НАН КР, д-р геол.-мин. наук, профессор, президент Национальной академии наук Кыргызской Республики (НАН КР); директор Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: kanab53@yandex.com

**Фролова Александра Георгиевна**, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Региональная сейсмология» ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: shfrolova@mail.ru

**Першина Елена Владимировна**, гл. инженер Центра обработки данных ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: per\_71@mail.ru

**Берёзина Анна Викторовна**, зав. Центром обработки данных ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: annaberezina8@gmail.com

## Experience of using the OpenQuakeEngine program for probabilistic assessment of seismic hazard in the Batken region of Kyrgyzstan

© 2025 K.E. Abdrakhmatov, A.G. Frolova, E.V. Pershina, A.V. Berezina

IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan

Received September 29, 2025

**Abstract** The brief description of the seismicity of the Batken region and adjacent areas is given. The methodology and stages of a probabilistic assessment of seismic hazard for this territory using the OpenQuakeEngine software are considered. The results are presented in the peak and spectral ground accelerations and disaggregation parameters.

**Keywords** Seismic hazard, active faults, area sources, peak and spectral ground accelerations, disaggregation.

**For citation** Abdrakhmatov, K.E., Frolova, A.G., Pershina, E.V., & Berezina, A.V. (2025). [Experience of using the OpenQuakeEngine program for probabilistic assessment of seismic hazard in the Batken region of Kyrgyzstan]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 7(4), 17-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.02>. EDN: DALLGT

### References

- Abdrakhmatov, K.E. (2021). [Modern data on the recurrence of strong earthquakes in the Tian-Shan territory]. *Vestnik Instituta seismologii NAN KR* [Bulletin of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic], (1(17)), 8-15. (In Russ.). Available at: [https://journal.seismo.kg/archive/journal\\_2021-17/article2.pdf](https://journal.seismo.kg/archive/journal_2021-17/article2.pdf)
- Abdrakhmatov, K.E., Berezina, A.V., Walker, R., Frolova, A.G., Grützner, K., Grebennikova, V.V., Pershina, E.V., Sokolova, N.P., & Moldobekova, S. (2022). *Zemletriasenii Kyrgyzstana* [Earthquakes of Kyrgyzstan]. Bishkek, Kyrgyzstan: Publishing house of scientific journals and children's fiction, 205 p. (In Russ.).
- Abdrakhmatov, K.E., Dzhanuzakov, K.D., Frolova, A.G., & Pogrebnoy, V.N. (2011). *Karta seismicheskogo raionirovaniia Kyrgyzskoi Respubliki. Masshtab 1: 1 000 000. Ob"iasnitel'naia zapiska* [Map of seismic zoning of the territory of the Kyrgyz Republic (Explanatory note)]. Bishkek, Kyrgyzstan: Ilim Publ., 24 p. (In Russ.).
- Abdrakhmatov, K.E., Omuraliev, M., Omuralieva, A., & Zakhzhaya, N.G. (2018). *Karta intensivnosti sotriasenii zemnoi poverkhnosti v ballakh pri veroiatnykh maksimal'nykh zemletriaseniiakh na territorii Kyrgyzstana* [Map of the intensity of ground shaking in points during probable maximum earthquakes in the territory of Kyrgyzstan]. Bishkek, Kyrgyzstan: IS NAS KR Publ. (In Russ.). Retrieved from [https://seismo.kg/intensity\\_map/intensity\\_map.php](https://seismo.kg/intensity_map/intensity_map.php)
- Abrahamson, N.A., Silva, W.J., & Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1025-1055. DOI: [10.1193/070913EQS198M](https://doi.org/10.1193/070913EQS198M)
- Akkar, S., & Bommer, J.J. (2010). Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region, and the Middle East. *Seismological Research Letters*, 81(2), 195-206. DOI: [10.1785/gssrl.81.2.195](https://doi.org/10.1785/gssrl.81.2.195)
- Butovskaya, E.M. (Ed.). (1961). *Seismichnost' Uzbekistana* [Seismicity of Uzbekistan. Vol. 1]. Tashkent, Uzb. SSR: Publishing House of the Academy of Sciences of the Uzbek SSR, 98 p. (In Russ.).
- Chediya, O.K. (1986). *Morfostruktury i noveishii tektonogeneticheskii Tien'-Shania* [Morphostructures and the latest tectogenesis of the Tien Shan]. Frunze, Kirg. SSR: Ilim Publ., 312 p. (In Russ.).
- Chiou, B., & Youngs, R.R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1117-1153. DOI: [10.1193/072813EQS219M](https://doi.org/10.1193/072813EQS219M)
- Dzhanabilova, S.O., & Abdrakhmatov, K.E. (2017). [Methods and approaches used for seismic hazard assessment]. *Vestnik Instituta seismologii NAN KR* [Bulletin of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic], (1(9)), 9-18. (In Russ.). Available at: [https://journal.seismo.kg/archive/journal\\_2017-9/article1.pdf](https://journal.seismo.kg/archive/journal_2017-9/article1.pdf)
- Grebennikova, V.V., Ismailova, Zh.Zh., & Kulkayir, T.K. (2024). [New date on the Isfara-Barken earthquake, January 31, 1977]. *Vestnik Instituta seismologii NAN KR* [Bulletin of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic], (1(23)),

- 15-28. (In Russ.). Available at: [https://journal.seismo.kg/archive/journal\\_2024-23/article3.pdf](https://journal.seismo.kg/archive/journal_2024-23/article3.pdf)
- Kalmurzaev, K.E., Knauf, V.I., Yudakhin, F.N., Dzhanuzakov, K.D., & Trofimov, A.K. (1977). [Preliminary results of the study of the 31 January 1977 Isfar-Batken earthquake]. *Izvestiya Akademii nauk Kirgizskoy SSP* [News of the Academy of Sciences of the Kyrgyz SSR], (5), 11-19. (In Russ.).
- Kamchybekov, M.P., Egemberdieva, K.A., Muratalli-ev, N.M., Kamichibekov, Y.P., & Azhibek, K.A. (2023). [Strong earthquakes in the territories adjacent to the city of Batken]. *Vestnik Instituta seismologii NAN KR* [Bulletin of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. 2023], (1(21)), 52-58. (In Russ.).
- Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (Eds.). (1977). *Novyj katalog sil'nyh zemletryasenij na territorii SSSR s drevnejshih vremyon do 1975 g.* [New catalogue of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
- Kossobokov, V.G., & Nekrasova, A.K. (2012). Global seismic hazard assessment program maps are erroneous. *Seismic Instruments*, 48(2), 162-170. DOI: 10.3103/S0747923912020065
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., Henshaw, P., Butler, L., Nastasi, M., Panzeri, L., Simionato, M., & Vigano, D. (2014). OpenQuake engine: An open hazard (and risk) software for the Global earthquake model. *Seismological Research Letters*, 85(3), 692-702. DOI: 10.1785/0220130087
- Patyniak, M., Landgraf, A., Dzhumabaeva, A., Williams, A.M., Baikulov, S., Abdurakhmatov, K.E., Arrowsmith, J.R., & Strecker, M.R. (2020). Seismic behavior along a fault segment in an active continental collision zone: New paleoseismic and structural data of the Pamir frontal thrust in the Alai valley, Kyrgyzstan, Central Asia. In *EGU2020 General Assembly Conference Abstracts: Sharing Geoscience Online Session*. EGU2020-4599.
- Semenov, A.A. (1958). [List of earthquakes in Central Asia and adjacent countries from ancient times to 1830]. In *Trudy Instituta seismostoikogo stroitel'stva i seismologii AN Tadzhikistana. T. 94* [Transactions of the Institute of Earthquake Resistant Construction and Seismology of the Academy of Sciences of the Tajikistan. Vol. 94] (pp. 37-52). Stalinabad, Taj. SSR: IERCS AST Publ. (In Russ.).
- SN KR 20-02:2024. (2024). *Seismostoikoe stroitel'stvo. Normy proektirovaniia. Kyrgyzskaia Respublika* [Earthquake-resistant construction. Construction standards of the Kyrgyz Republic]. Bishkek, Kyrgyzstan: State Agency for Architecture, Construction, Housing and Communal Services under the Cabinet of Ministers of the Kyrgyz Republic, 131 p. (In Russ.). Retrieved from <https://eis.su/srostandart/sn-kr-20-02-2024/>
- Stewart, J.P., Boore, D.M., Seyhan, E., & Atkinson, G.M. (2016). NGA-West2 equations for predicting vertical-component PGA, PGV, and 5%-damped PSA from shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(2), 1005-1031. DOI: 10.1193/072114EQS116M
- Vvedenskaya, N.A. (1962). [Generalization of seismic statistical data in seismic zoning of Central Asia]. *Trudy Instituta Fiziki Zemly Akademii Nauk SSSR* [Works of the Institute of Physics of the Earth of the Academy of Sciences of USSR], (22), 1-196. (In Russ.).
- Zhao, J.X., Zhou, S., Zhou, J., Zhao, C., Zhang, H., Zhang, Y., Gao, P., Lan, X., Rhoades, D., Fukushima, Y., et al. (2016). Ground-motion prediction equations for shallow crustal and upper-mantle earthquakes in Japan using site class and simple geometric attenuation functions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(4), 1552-1569. DOI: 10.1785/0120150063

### Information about authors

**Abdrakhmatov Kanatbek Ermekovich**, Corresponding Member of the NAS KR, Dr., Professor, President of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic (NAS KR), Bishkek, Kyrgyz Republic; Director of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic (IS NAS KR), Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail: kanab53@yandex.ru

**Frolova Aleksandra Georgievna**, PhD, Head of the Regional Seismology Laboratory of the IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan. E-mail: shfrolova@mail.ru

**Pershina Elena Vladimirovna**, Chief Engineer of the National Data Center of the IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan. E-mail: per\_71@mail.ru

**Berezina Anna Viktorovna**, Head of the National Data Center of the IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan. E-mail: annaberezina8@gmail.com