

УДК 550.343.4

DOI: 10.46698/VNC.2025.68.32.008

Оригинальная статья

Оценка сейсмической опасности территорий Казахстана на примере Жамбылской области

Н.В. Силачева^{id}, А.Д. Кудабаяева^{id}

Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований МЧС РК,
Казахстан, 050060, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 75а,
e-mail: silacheva_nat@mail.ru

Статья поступила: 20.01.2025, доработана: 25.02.2025, принята к публикации: 28.02.2025

Резюме: Актуальность работы. С переходом строительных государственных нормативов Республики Казахстан на основные принципы Еврокод 8 потребовалась разработка отвечающих этим принципам карт сейсмического зонирования. Первыми такими картами, вошедшими в строительные правила Республики Казахстан в 2017 и 2021 гг., стали комплекты карт общего сейсмического зонирования территории Казахстана и сейсмического микрозонирования г. Алматы. При их разработке применены вероятностный подход к оценке сейсмической опасности и ее представление как в баллах макросейсмической интенсивности, так и в количественных параметрах – пиковых ускорениях грунта. Следующим этапом на этом пути явился проект по детальному сейсмическому зонированию территорий областей и микрозонированию городов, поэтапно выполняющийся с 2021 г. В нем существенно обновлены все элементы вероятностной оценки опасности. В работе представлен современный подход к оценке сейсмической опасности и сейсмическому зонированию в Казахстане на примере Жамбылской области. **Цель исследований.** Вероятностная оценка сейсмической опасности и детальное сейсмическое зонирование Жамбылской области Казахстана в количественных параметрах. **Методы исследования.** Использованы современные методы и инструменты анализа, а также наиболее полная и актуальная информация, имеющаяся для рассматриваемой территории. Исследования опирались на созданные в проекте геолого-геофизическую и сеймотектоническую основы оценки сейсмической опасности, включали изучение параметров сейсмического режима и сеймотектонической деформации земной коры, создание банка параметров колебаний грунта, определение системы моделей прогнозирования колебаний грунта, моделирование и параметризацию площадных и линейных сейсмических источников, вероятностный анализ сейсмической опасности, разработку карт детального сейсмического зонирования. **Результаты исследования.** В статье рассмотрены результаты оценки сейсмической опасности в количественных параметрах – пиковых ускорениях грунта и спектральных ускорениях. Разработан пакет карт детального сейсмического зонирования территории Жамбылской области Казахстана в пиковых ускорениях грунта для двух периодов повторяемости 475 и 2475 лет (вероятности превышения 10% и 2% за 50 лет). Созданные карты послужат основой для обновления строительных документов, будут способствовать интеграции в европейскую и мировую экономики, созданию условий для инвестиционных проектов и страхования, повышению сейсмической безопасности страны.

Ключевые слова: Жамбылская область Казахстана, оценка сейсмической опасности, детальное сейсмическое зонирование, вероятностные карты, ускорения грунта.

Благодарности: Работа представлена в рамках научно-исследовательского проекта «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе» ИРН ПЦФ BR24992763.

Для цитирования: Силачева Н.В., Кудабаяева А.Д. Оценка сейсмической опасности территорий Казахстана на примере Жамбылской области. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(1): 92-104. DOI: 10.46698/VNC.2025.68.32.008

DOI: 10.46698/VNC.2025.68.32.008

Original paper

Seismic hazard assessment of Kazakhstan territory on the example of Zhambyl region

N.V. Silacheva^{id}, A.D. Kudabayeva^{id}

National Center for Seismological Observations and Research,
Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan,
75a Al-Farabi Ave., Almaty 050060, Kazakhstan,
e-mail: silacheva_nat@mail.ru

Received: 20.01.2025, revised: 25.02. 2025, accepted: 28.02.2025

Abstract: Relevance. With the transition of state construction standards of the Republic of Kazakhstan to the basic principles of Eurocode 8, the development of seismic zoning maps that meet these principles was also required. The first such maps included in the construction rules of the Republic of Kazakhstan in 2017 and 2021 were Maps of General Seismic Zoning of the territory of Kazakhstan and Seismic Microzonation Maps for the city of Almaty. When developing them, a probabilistic approach was used to assess seismic hazard and its representation not only in macroseismic intensities, but also in quantitative parameters – peak ground accelerations. The next stage was a project for detailed seismic zoning of regions and microzonation of cities, implemented in stages since 2021. It significantly updates all elements of the probabilistic hazard assessment. The paper presents a modern approach to seismic hazard assessment and seismic zoning in Kazakhstan using the example of the Zhambyl Region. **Aim.** Probabilistic seismic hazard assessment and detailed seismic zoning of the Zhambyl Region of Kazakhstan in quantitative parameters. **Methods.** Modern methods and analysis tools were used, as well as the most complete and up-to-date information available for the territory under consideration. The research was based on the geological, geophysical and seismotectonic basis for assessing seismic hazard, created in the project, and included a study of the parameters of the seismic regime and seismotectonic deformation of the Earth's crust, the creation of a bank of ground motion parameters, the definition of a system of ground motion models, modeling and parameterization of areal and linear seismic sources, probabilistic analysis of seismic hazard, and the development of detailed seismic zoning maps. **Results.** The article discusses the results for estimates in quantitative parameters – peak ground accelerations and spectral accelerations. A set of detailed seismic zoning maps for the territory of the Zhambyl Region of Kazakhstan in peak ground accelerations for two return periods of 475 and 2475 years (probabilities of exceedance of 10% and 2% in 50 years) has been developed. The created maps will serve as the basis for updating construction regulations, will contribute to integration into the European and world economies, create conditions for investment projects and insurance, and increase the country's seismic safety.

Keywords: Zhambyl Region of Kazakhstan, seismic hazard assessment, detailed seismic zoning, probabilistic maps, ground acceleration.

Acknowledgements: The work is presented within the framework of the research project “Seismic hazard assessment of the territories of regions and cities of Kazakhstan on a modern scientific and methodological basis” No. BR24992763.

For citation: Silacheva N.V., Kudabayeva A.D. Seismic hazard assessment of Kazakhstan territory on the example of Zhambyl region. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2025. 15(1): 92-104. DOI: 10.46698/VNC.2025.68.32.008

Введение

С 2015 г. в Казахстане действует идентичный Еврокодам свод правил СП РК EN 1998-1:2004/2012 «Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1: Общие

правила, сейсмические воздействия и правила для зданий» с Национальным приложением и соответствующими нормативно-техническими пособиями. Переход строительных государственных нормативов на основные принципы Еврокодов потребовал и разработки отвечающих этим принципам карт сейсмического районирования. Первыми такими картами, вошедшими в строительные правила Республики Казахстан в 2017 и 2021 гг., стали Карты общего сейсмического зонирования (ОСЗ) территории Казахстана (новая редакция [СП РК 2.03-30-2017*, 2021]) и Карты сейсмического микрозонирования (СМЗ) г. Алматы [СП РК 2.03-31-2020, 2020]. При их разработке применены вероятностный подход к оценке сейсмической опасности и ее представление не только в баллах макросейсмической интенсивности, но и в количественных параметрах – пиковых ускорениях грунта. Следующим этапом на этом пути явился проект по детальному сейсмическому зонированию (ДСЗ) территорий областей и микрозонированию (СМЗ) городов, поэтапно выполняющийся с 2021 г. [Silacheva, 2023]. Лежащая в его основе вероятностная оценка сейсмической опасности (ВОСО) выполнена на базе методологии, согласующейся с основными положениями Еврокода 8 и обновленной по сравнению с методологией, применявшейся при разработке карт ОСЗ территории Казахстана и СМЗ г. Алматы. Используются современные методы и инструменты анализа, а также наиболее полная и актуальная информация, имеющаяся для рассматриваемой территории. Обновлены не только базы данных, но и представление сейсмических источников – площадных, а теперь и активных разломов.

Жамбылская область расположена на юге Казахстана и занимает территорию 144,2 тыс. кв. км. Население составляет более 1,2 млн человек, причем территория области заселена неравномерно, наиболее густонаселены высокосейсмичные предгорные районы. Большая часть территории находится в пределах юго-восточной периферии молодой слабосейсмичной Туранской платформы. Южная граница и прилегающие к ней территории Узбекистана и Киргизии относятся к высокосейсмичной орогенной зоне, включающей в себя хребты Западного и Внутреннего Тянь-Шаня.

Первая попытка вероятностного районирования Жамбылской области выполнялась в 2010 г. в баллах макросейсмической шкалы и экспериментально в пиковых ускорениях грунта для трех уровней вероятности превышения расчетных значений 1%, 5% и 10% за 50 лет. За прошедшее десятилетие изменилась сейсмическая и сеймотектоническая изученность региона, создан высококачественный каталог землетрясений, значительно обновились мировые базы записей сильных движений грунта, и разработаны более достоверные модели их прогнозирования, разработано и постоянно совершенствуется специализированное программное обеспечение. Все эти факторы привели к необходимости современной оценки опасности и сейсмического районирования. Новые карты ДСЗ разрабатывались в масштабе 1:1000000 для вероятности превышения 10% и 2% за 50 лет (период повторяемости 475 и 2475 лет соответственно) в баллах макросейсмической интенсивности и пиковых ускорениях грунта (PGA). В данной статье рассмотрена ВОСО территории Жамбылской области Казахстана в PGA для скальных грунтовых условий.

Методика и данные

Исследования базируются на созданных в проекте геолого-геофизической и сеймотектонической информационных базах, включают изучение параметров сейсмического режима и сеймотектонической деформации земной коры, создание

банка параметров колебаний грунта, определение системы моделей прогнозирования колебаний грунта, моделирование и параметризацию площадных и линейных сейсмических источников, вероятностный анализ сейсмической опасности, разработку карт ДСЗ.

Вероятностный анализ выполнен по методике Корнелла [Cornell, 1968] с использованием методологического формализма Филда и др. [Field et al., 2003], реализованных в программном обеспечении для расчета сейсмической опасности и риска OpenQuake Engine [Pagani et al., 2014]. Основными элементами ВОСО являются составление модели сейсмических очагов, характеристика распределения годового количества землетрясений в этих очагах по магнитуде, расчет сотрясений грунта в пункте от землетрясений всех возможных магнитуд из выделенных сейсмических очагов и оценка вероятности того, что рассчитанные сотрясения будут превышены за заданный период времени. ВОСО дает количественную оценку вероятности превышения уровней колебаний грунта в пункте от различных очагов землетрясений, каждый из которых имеет определенные характеристики и сейсмогенерирующий потенциал. В заданных по сетке точках в исследуемом регионе выполнена оценка уровня колебаний грунта, который, как ожидается, будет превышен с заданной вероятностью и в течение фиксированного времени наблюдения (в нашем расчете с вероятностью превышения 10% и 2% за 50 лет).

Основой для составления и характеристики модели сейсмических очагов являются сеймотектоническая модель региона и каталог землетрясений. Частота возникновения землетрясений в каждой зоне характеризуется путем определения модели повторяемости землетрясений, которая наилучшим образом объясняет наблюдаемые данные, представительность которых предварительно проверяется. Из сеймотектонических соображений определяются тип подвижки, преобладающий механизм формирования разрыва и распределение глубин гипоцентров, а также ожидаемая магнитуда. Для расчета сотрясений грунта используются модели прогнозирования.

По сравнению с международными проектами CASHA-BU [<https://www.osti.gov/biblio/2318777>], SFRARR [Poggi et al., 2024], EMCA [Bindi et al., 2012] наши исследования более детализованы, выполняются в масштабе ДСЗ и, соответствуя основным положениям западной методики, включают также методические наработки советского периода. При моделировании сейсмических источников используются сеймотектоническая и геолого-геофизическая основы. Сейсмические источники в виде разломов основываются как на часто используемой зарубежной базе данных, так и на базе данных активных разломов территории области, разрабатываемой в этом проекте на основе многолетних казахстанских исследований.

Каталог землетрясений

При подготовке каталога землетрясений для Жамбылской области использован «Представительный каталог землетрясений», созданный в 2022 г. в рамках проекта «Оценка сейсмической опасности в Центральной Азии и унификация бюллетеней» CASHA-BU [<https://www.osti.gov/biblio/2318777>]. Для каталога Жамбылской области выполнено уточнение представительных магнитуд. График распределения магнитуд по времени за инструментальный период с выделением четырех визуально различающихся периодов представлен на рисунке 1. Периоды представительной регистрации и соответствующие им представительные магнитуды для каталога землетрясений Жамбылской области и ее 300-километровой буферной зоны пред-

ставлены в таблице 1. В связи с ограниченностью данных для региона и с учетом мировых тенденций в работе использовался каталог без декластеризации.

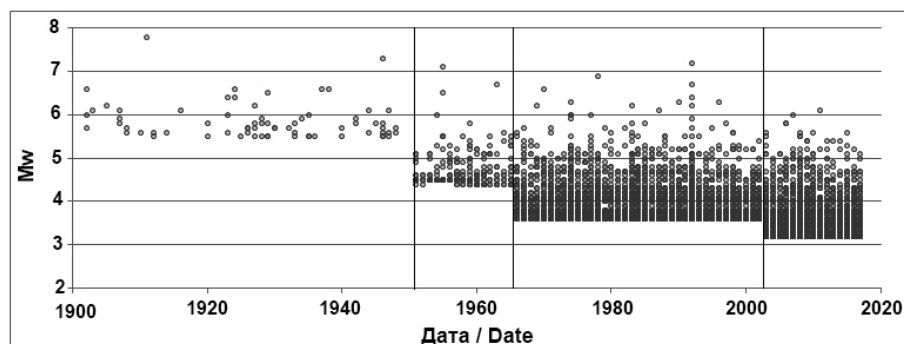


Рис. 1. Временные периоды (разделены линиями) с разными минимальными представительными магнитудами для территории Жамбылской области /

Fig. 1. Time periods (separated by lines) with different minimum complete magnitude for the territory of the Zhambyl Region

Таблица 1 / Table 1

Параметры представительности каталога землетрясений /
Completeness parameters of the earthquake catalog

Период времени/ Time period	Представительность Mw/ Mw completeness	Период наблюдения/ Observation period
1902-1950	$M_w \geq 5,5$	116 (1902-2017)
1951-1965	$M_w \geq 4,4$	67 (1951-2017)
1966-2002	$M_w \geq 3,6$	52 (1966-2017)
2003-2017	$M_w \geq 3,2$	15 (2003-2017)

При построении зависимости Гутенберга-Рихтера по полученному представительному каталогу, наблюдаемые данные показывают почти идеальную линейную связь между магнитудой и кумулятивной годовой частотой землетрясений, как для метода наименьших квадратов, так и для метода максимального правдоподобия, а значение b близко к 1 (рис. 2).

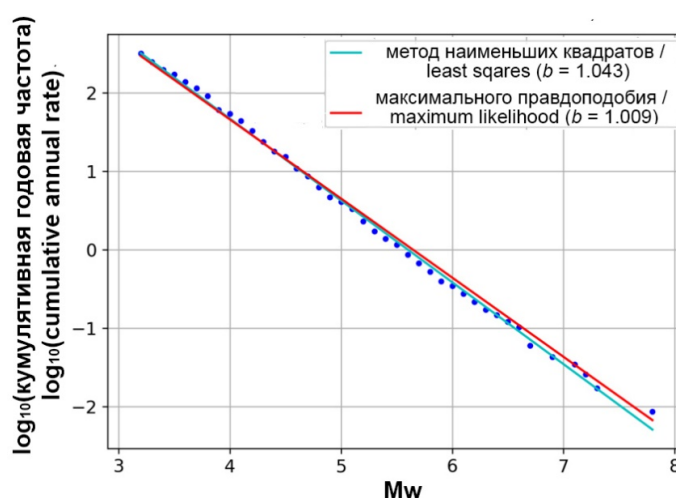


Рис. 2. Зависимость Гутенберга-Рихтера для представительного каталога /

Fig. 2. Gutenberg-Richter relation for the complete catalog

Моделирование и параметризация сейсмических источников

При оценке сейсмической опасности Жамбылской области разработана гибридная модель сейсмических источников, сочетающая прямое моделирование активных разломов и распределенное представление сейсмичности на основе каталога землетрясений на территории области и ее 300-километровой буферной зоны. Такой подход позволяет более реалистично воспроизвести картину сейсмичности, чем использование только площадных источников, как это делалось на более ранних этапах ВОСО в Казахстане [Silacheva et al., 2018].

Площадные источники строились в виде полигональных зон на основе ГИС-технологий. При выделении зон принимались во внимание характер распределения сейсмичности, соответствие важным топографическим и тектоническим особенностям, теоретически оцененный сейсмопотенциал. Построенная модель включила 56 площадных сейсмических источников (рис. 3). Площадь зон неодинакова и зависит также от плотности эпицентров землетрясений, количество которых влияет на устойчивость магнитудно-частотных характеристик зоны.

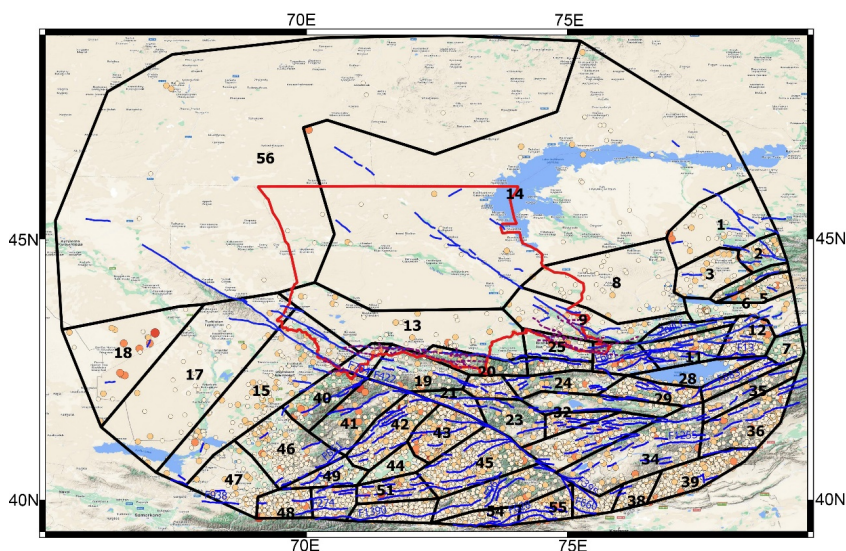


Рис. 3. Составление модели площадных сейсмических источников с учетом распределения сейсмичности, топографических особенностей и активных разломов /

Fig. 3. Development of a model of area seismic sources taking into account the distribution of seismicity, topographic features and active faults

При параметризации площадных источников определялись их геометрия, тектонический район, минимальная и максимальная (теоретическая) магнитуда, мощность сейсмоактивного слоя, кинематические параметры для преобладающего типа землетрясений, глубина гипоцентров, параметры магнитудно-частотного распределения. По тектоническому типу 55 зон отнесены к активным коровым деформациям, одна – к стабильным. Минимальная моментная магнитуда M_w при ВОСО обычно принимается равной 4,5. Максимальная зависит от длины самого большого разлома в пределах зоны и ограничивается размером зоны. Нами также учитывался потенциал сейсмогенерирующих зон [Тимуш и др., 2012] и исторические землетрясения. Кинематические параметры землетрясений (падение, простирание, наклон нодальной плоскости) оцениваются по механизмам очага в пределах зоны, глубина гипоцентров – из гистограммы глубин для зоны. Параметры магнитудно-частотного распределения землетрясений определялись из ограниченного уравнения Гутен-

берга-Рихтера для зоны, которое показывает кумулятивную годовую частоту событий в зависимости от их магнитуды (для представительного каталога) и ограничено заданными Mw_{min} (каталога) и Mw_{max} . При гибридном подходе внутри площадного источника моделируются разломы. В этом случае площадные источники представляют вклад землетрясений меньшей магнитуды, которая в нашем расчете ограничена значением $Mw \leq 6,3$. В зависимости от наличия разломов внутри зоны использовалось ограниченное распределение параметра b в уравнении Гутенберга-Рихтера для максимальной расчетной магнитуды зоны (при отсутствии разломов) или для максимальной $Mw=6,3$ (при наличии разломов).

Моделирование активных разломов на территории Казахстана значительно затруднено из-за недостаточной изученности характеристик большинства разломов, особенно в части их кинематических параметров, характеристик залегания, оценки скоростей скольжения по разлому. Литературные и архивные данные по скоростям скольжения очень ограничены и не согласуются между собой, либо оценены в рамках очень больших диапазонов, как в [Zelenin et al., 2022]. Само местоположение разломов различно на картах активных разломов из разных источников. Для повышения достоверности расчетов в анализе использовано две модели сейсмических источников в виде конечных разломов. Одна модель разработана на основе базы активных разломов, полученной на основе информации из геологической литературы, отчетов проводившихся ранее геолого-геофизических исследований, имеющихся геологических карт (аналогично [Курилова и др., 2022]). Другая – на основе Базы данных активных разломов Евразии AFEAD [Zelenin et al., 2022]. Сейсмогенерирующие структуры, входящие в указанные базы, преобразованы в модели сейсмических источников в виде конечных разломов. При анализе сейсмической опасности с использованием гибридной модели сейсмических очагов (активные разломы и площадные зоны) рассматривались активные разломы с магнитудой начиная от $Mw=6,4$.

Модель активных разломов на основе AFEAD показана на рисунке 4а. Модель, составленная по материалам Института сейсмологии (IS), показана на рисунке 4б. Разломы в буферной зоне взяты из первой модели. При достаточной согласованности разломов, входящих в две описанные модели, они заметно различаются сегментацией, что сказывается на величине максимальной магнитуды Mw_{max} . Так, например, Кендыктаская зона разломов (к юго-западу от оз. Балхаш) вошла в модель разломов на основе AFEAD (рис. 4а), а в случае базы IS (рис. 4б) сегменты разломов этой зоны имеют максимальную магнитуду ниже 6,4 и описываются площадными сейсмическими источниками. В анализе сейсмической опасности модели приняты с весовыми коэффициентами – 40% и 60%.

Характеристика разломов для расчетной модели включает их геометрию, сеймотектоническую характеристику района, мощность сейсмоактивного слоя, оценку углов простираия и падения нодальной плоскости разлома, вероятную магнитуду Mw , при которой на разломе могут многократно образовываться разрывы, магнитудно-частотные параметры, полный сейсмический момент M_0 (по [Youngs et al., 1985]) и ряд других параметров, включая весовые функции.

Модели прогнозирования движений грунта

Большая часть рассматриваемой территории характеризуется активным сеймотектоническим режимом – это зоны 1-55 модели площадных сейсмических ис-

точников (рис. 4). К районам со стабильным режимом можно отнести север и северо-восток территории (часть Казахского щита и молодой Туранской платформы), охватываемые 56 зоной модели.

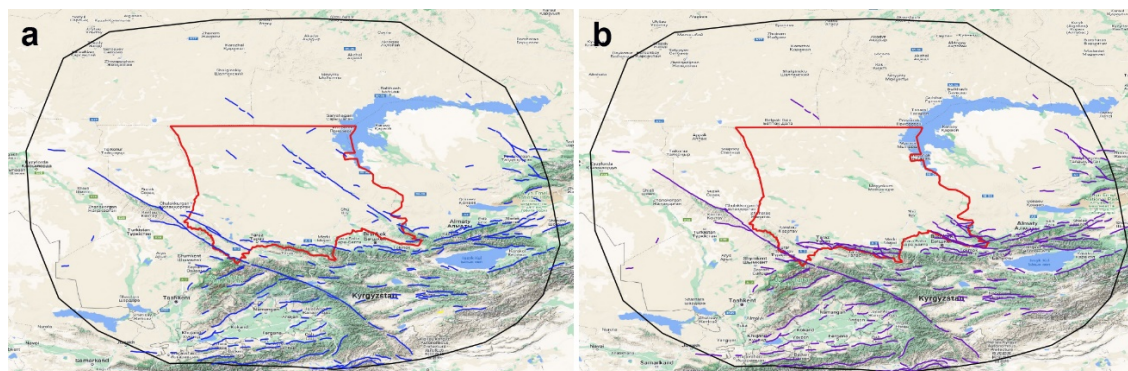


Рис. 4. Модели активных разломов ($M_{w_{max}} \geq 6.4$) на основе базы активных разломов AFEAD (a) и базы IS (b). Разломы и элементы разломов показаны синими линиями /

Fig. 4. Models of active faults ($M_{w_{max}} \geq 6.4$) based on the AFEAD active fault database (a) and the IS database (b). Faults and fault elements are shown as blue lines

Поскольку уровень ускорений, зарегистрированных имеющимися сейсмологическими станциями на территории Жамбылской области, недостаточен для использования этих записей в тестировании моделей прогнозирования движений грунта (GMM), использовались записи, полученные в других регионах Казахстана с активным сеймотектоническим режимом.

Исследование по отбору и тестированию моделей для активного тектонического режима включало анализ зарегистрированных пиковых и спектральных ускорений и их графиков невязок – разностей натуральных логарифмов наблюдаемых и модельных значений. Также учитывалось наличие моделей в библиотеке GMM программного комплекса Open Quake Engine (<https://docs.openquake.org/oq-engine/3.10/hazardlib.html>). Для BOCO в PGA в тектонически активных районах Жамбылской области отобраны 5 моделей: три модели проекта NGA-West2 [Bozorgnia et al., 2014] AbrahamsonEtAl2014 [Abrahamson et al., 2014], BooreEtAl2014 [Boore et al., 2014], ChiouYoungs2014 [Chiou et al., 2014] и модели ZhaoEtAl2016Asc [Zhao et al., 2016] и AkkarBommer2010 [Akkar et al., 2010]. Две последние модели лучше согласуются с данными, чем модели NGA-West2, и включены в расчет с большими весовыми коэффициентами. Набор GMM для тектонически стабильной зоны включил модели проекта NGA-East: Boore2015NGAEastAB14, DarraghEtAl2015NGAEast1CCSP, ShahjouiPezeschk2015NGAEast и YenierAtkinson2015 NGAEast [Goulet et al., 2021].

Анализ сейсмической опасности

Логическое дерево сейсмических источников включало две гибридные модели – сочетание площадных источников с двумя моделями активных разломов. Логическое дерево GMM для случая PGA включало наборы из 5 GMM для коровых землетрясений в тектонически активных районах и из 3 GMM для землетрясений в стабильных районах. Весовые коэффициенты отдельных ветвей определялись с учетом тестовых расчетов. Анализ выполнен для двух уровней вероятности превышения расчетных значений 10% и 2% за 50 лет (период повторяемости 475 и 2475 лет соответственно). Расчеты сейсмической опасности выполнены в средних значениях

среднегеометрических пиковых ускорений грунта (PGA в долях g) для территории, включающей Жамбылскую область в пределах $41,9^{\circ}$ – $46,5^{\circ}$ с. ш. и $68,5^{\circ}$ – $76,3^{\circ}$ в. д. по сетке с интервалом 5 км в обоих направлениях. Для каждой расчетной точки учитывалось воздействие от расположенных в пределах радиуса 300 км сейсмических источников с учетом их сеймотектонического режима. Грунтовые условия соответствуют скальным и скально-подобным геологическим формациям, для поверхностных 30-метровых толщ которых типичны скорости распространения поперечных волн $V_{s30} \geq 800$ м/с.

Основными выходными результатами анализа явились файлы данных для карт опасности, а также кривые опасности и однородные спектры реакции для отдельных пунктов.

Результаты и обсуждение

Полученные кривые опасности для городов Жанатас, Каратау, Тараз и Шу на территории Жамбылской области показаны на рисунке 5. Однородные спектры опасности для рассмотренных уровней вероятности 10% и 2 % за 50 лет приведены на рисунке 6 а, б. Вероятностные карты-схемы ДСЗ для Жамбылской области показаны на рисунке 7 а, б.

Как видно из полученных данных (рис. 5–7) уровень PGA возрастает с севера на юг в направлении высокосейсмичных приграничных южных районов Казахстана. На картах ДСЗ при вероятности превышения 10% за 50 лет полученные значения лежат в диапазоне 0,025–0,468 g , при 2% за 50 лет – в диапазоне 0,074–0,960 g . Максимальные значения прогнозируются на юго-востоке в зоне активных разломов.

На полученных картах ДСЗ значения превышают полученные при первых попытках вероятностного районирования 2010 г. Это объясняется существенным улучшением методики и качества анализируемых данных. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с Картой ОСЗ территории Казахстана 2017 г. [СП РК 2.03-30-2017*, 2021]. За счет использования не только зональных источников, но и активных разломов, тщательной очистки каталога от взрывов и уточнения карты разломов, получены более выраженные, чем при ОСЗ Казахстана, зоны повышенной опасности в зоне активных разломов на юге области. На севере территории также повысились значения ожидаемых ускорений за счет более аккуратного учета сеймотектонических условий и сейсмического потенциала территорий со стабильным режимом.

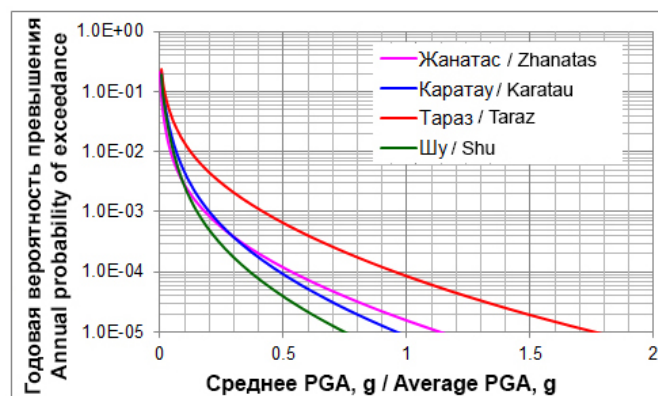


Рис. 5. Кривые опасности для городов Жанатас, Каратау, Тараз и Шу (для скального грунта) /
Fig. 5. Hazard curves for the cities of Zhanatas, Karatau, Taraz and Shu (for rock)

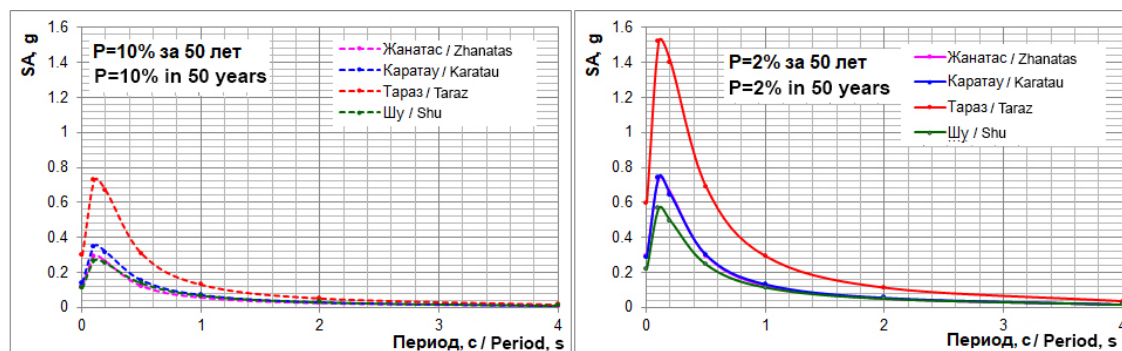


Рис. 6. Однородные спектры опасности для городов Жанатас, Каратау, Тараз и Шу с вероятностью превышения 10% и 2% за 50 лет (для скального грунта) /

Fig. 6. Uniform hazard spectra for the cities of Zhanatas, Karatau, Taraz and Shu with a probability of exceedance 10% and 2% in 50 years (for rock)

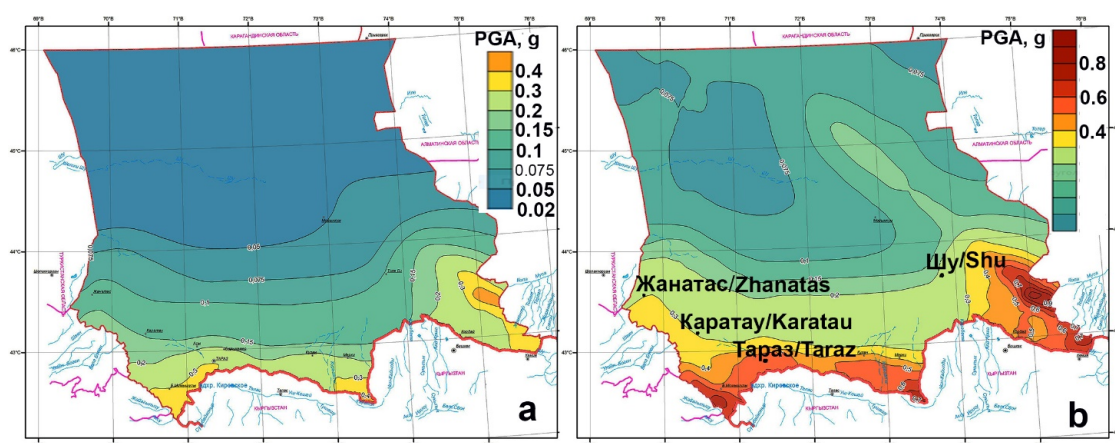


Рис. 7. Карты-схемы ДСЗ территории Жамбылской области в пиковых ускорениях грунта. Вероятность превышения расчетной интенсивности 10% (а) и 2% (б) в течение 50 лет /

Fig. 7. Schematic maps of detailed seismic zoning of the territory of Zhambyl Region in peak ground accelerations. Probability of exceeding the calculated intensity of 10% (a) and 2% (b) in 50 years

Выводы

– Территория Жамбылской области Казахстана относится к сейсмически опасным и подлежащим разработке проектной документации на строительство с учетом сейсмичности.

– Необходимость создания карт сейсмического зонирования на современной методической основе обусловлена переходом строительных государственных нормативов Казахстана на основные принципы Еврокод 8.

– По результатам проведенных исследований разработан пакет карт детального сейсмического зонирования территории Жамбылской области Казахстана в пиковых ускорениях грунта для двух периодов повторяемости 475 и 2475 лет (вероятности превышения 10% и 2% за 50 лет).

– При разработке карт использованы современные методы и инструменты анализа, а также наиболее полная и актуальная информация, имеющаяся для рассматриваемой территории.

– В отличие от первой Карты ОСЗ территории Казахстана 2017 г. на новой методической основе, проект по ДСЗ областей включает моделирование не только площадных, но и линейных сейсмических источников.

– На территории Жамбылской области среднегеометрические значения пиковых ускорений грунта возрастают с севера на юг в направлении высокосейсмичных приграничных южных районов Казахстана в диапазоне 0,025–0,468 g при вероятности превышения 10% за 50 лет и 0,074–0,960 g при вероятности превышения 2% за 50 лет.

– Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с Картой ОСЗ территории Казахстана 2017 г. За счет учета как площадных, так и линейных источников и тщательной подготовки каталога получены более выраженные зоны повышенной опасности в районе активных разломов на юге области. На севере территории значения ожидаемых ускорений повысились за счет более аккуратного учета влияния сеймотектонических условий.

– Созданные карты послужат основой для разработки строительных правил Республики Казахстан и важным инструментом повышения сейсмической безопасности и подготовленности к сейсмическим бедствиям.

Литература

1. Курилова О.К., Степаненко Н.П. Разработка цифровой карты и атрибутивной базы данных тектонических разломов Алматинского сейсмоактивного района. // *Геология и охрана недр*. – 2022. – № 2. – С. 47–52.
2. СП РК 2.03-30-2017* Строительство в сейсмических зонах: свод правил Республики Казахстан. Астана: КазНИИСА, 2021. – 110 с.
3. СП РК 2.03-31-2020 Застройка территории города Алматы с учетом сейсмического микрозонирования: свод правил Республики Казахстан. Астана: КазНИИСА, 2021. – 61 с.
4. Тимуш А.В., Тарадаева Т.В., Степаненко Н.П., Садыкова А.Б., Сыдыков А. Сейсмогенерирующие зоны Казахстана. Алматы: Хай Текнолоджи, 2012. – 81 с.
5. Abrahamson A.A., Silva W.J., Kamai R. Summary of the ASK14 ground-motion relation for active crustal regions. // *Earthquake Spectra*. – 2014. – Vol. 30. No. 3. – pp. 1025–1055. DOI: 10.1193/070913EQS198M.
6. Akkar S., Bommer J.J. Empirical equations for the prediction of PGA, PGV and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region and the Middle. // *Seismological Research Letters*. – 2010. – Vol. 81. No. 2. – pp. 195–206.
7. Bindi D., Abdrakhmatov K., Parolai S., Mucciarelli M., Grünthal G., Ischuk A., Mikhailova N., Zschau J. Seismic hazard assessment in Central Asia: Outcomes from a site approach. // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. – 2012. – Vol. 37. – pp. 84–91. DOI: 10.1016/j.soildyn.2012.01.016.
8. Boore D.M., Stewart J.P., Seyhan E., Atkinson G.M. NGA-West2 Equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PGA for shallow crustal earthquakes. // *Earthquake Spectra*. – 2014. – Vol. 30. No. 3. – pp. 1057–1085. DOI: 10.1193/070113EQS1.
9. Bozorgnia Y., Abrahamson N.A., Atik L. et al. NGA-West2 research project. // *Earthquake Spectra*. – 2014. – Vol. 30. No. 3. – pp. 973–987. DOI: 10.1193/072113EQS209M.
10. Chiou B.S.-J., Youngs R.R. Updated of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. // *Earthquake Spectra*. – 2014. – Vol. 30. No. 3. – pp. 1117–1153. DOI: 10.1193/072813EQS219M.
11. Cornell C.A. Engineering seismic risk analysis. // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1968. – Vol. 58. – pp. 1583–1606.
12. Field E.H., Jordan T.H., Cornell C.A. OpenSHA: A developing community-modeling environment for seismic hazard analysis. // *Seismological Research Letters*. – 2003. – Vol. 74. – pp. 406–419. DOI: 10.1785/gssrl.74.4.406.
13. Goulet C.A., Bozorgnia Y., Atkinson G.M. et al. NGA-East ground-motion characterization model part I: Summary of products and model development. // *Earthquake Spectra*. – 2021. – Vol. 37(1_suppl). – pp. 1231–1282. DOI: 10.1177/87552930211018723.

14. Pagani M., Monelli D., Weatherill G., Danciu L., Crowley H. et al. OpenQuake engine: An open hazard (and risk) software for the global earthquake model. // *Seismological Research Letters*. – 2014. – Vol. 85. – pp. 692–702. DOI: 10.1785/0220130087.
15. Poggi V., Parolai S., Silacheva N., Ischuk A., Abdrakhmatov K., Kobuliev Z. et al. Harmonizing seismicity information in Central Asian countries: earthquake catalogue and active faults. // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. – 2024. – Vol. 24. – pp. 2597–2613. DOI: 10.5194/nhess-24-2597-2024.
16. Silacheva N.V. On the probabilistic seismic hazard assessment in Kazakhstan. // *Geotechnical and Geological Engineering*. – 2023. – Vol. 41(2). – pp. 1429–1437. DOI: 10.1007/s10706-022-02345-w.
17. Silacheva N.V., Kulbayeva U.K., Kravchenko N.A. Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations. // *Geodesy and Geodynamics*. – 2018. – Vol. 9. – pp. 131–141. DOI: 10.1016/j.geog.2017.11.002.
18. Youngs R., Coppersmith K. Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates. // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1985. – Vol. 75. No. 4. – pp. 939–964. DOI: 10.1785/BSSA0750040939.
19. 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. – Vol. 14. – pp. 4489–4503. DOI: 10.5194/essd-14-4489-2022.
20. Zhao J.X., Zhou Sh., Zhou J., Zhao Ch., Zhang H., Zhang Y., Gao P. 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. – Vol. 106. No. 4. – pp. 1552–1569.

References

1. Kurilova O.K., Stepanenko N.P. Development of a digital map and attribute database of tectonic faults of the Almaty seismically active region. *Geology and bowels of the Earth*. 2022. No. 2. pp. 47–52. (In Russ.)
2. SP RK 2.03-30-2017* Construction in seismic zones. Code of Practice of the Republic of Kazakhstan. Astana. KazNIISA. 2021. 110 p. (In Russ.)
3. SP RK 2.03-31-2020 Development of the territory of Almaty city taking into account seismic microzonation: Code of Practice of the Republic of Kazakhstan. Astana. KazNIISA. 2021. 61 p. (In Russ.)
4. Timush A.V., Taradayeva T.V., Stepanenko N.P., Sadykova A.B., Sydykov A. Seismogenerative zones of Kazakhstan. Almaty. High Technology. 2012. 81 p. (In Russ.)
5. Abrahamson A.A., Silva W.J., Kamai R. Summary of the ASK14 ground-motion relation for active crustal regions. *Earthquake Spectra*. 2014. Vol. 30. No. 3. pp. 1025–1055. DOI: 10.1193/070913EQS198M.
6. Akkar S., Bommer J.J. Empirical equations for the prediction of PGA, PGV and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region and the Middle. *Seismological Research Letters*. 2010. Vol. 81. No. 2. pp. 195–206.
7. Bindi D., Abdrakhmatov K., Parolai S., Mucciarelli M., Grünthal G., Ischuk A., Mikhailova N., Zschau J. Seismic hazard assessment in Central Asia: Outcomes from a site approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2012. Vol. 37. pp. 84–91. DOI: 10.1016/j.soildyn.2012.01.016.
8. Boore D.M., Stewart J.P., Seyhan E., Atkinson G.M. NGA-West2 Equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PGA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*. 2014. Vol. 30. No. 3. pp. 1057–1085. DOI: 10.1193/070113EQS1.
9. Bozorgnia Y., Abrahamson N.A., Atik L. et al. NGA-West2 research project. *Earthquake Spectra*. 2014. Vol. 30. No. 3. pp. 973–987. DOI: 10.1193/072113EQS209M.

10. Chiou B.S.-J., Youngs R.R. Updated of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*. 2014. Vol. 30. No. 3. pp. 1117–1153. DOI: 10.1193/072813EQS219M.
11. Cornell C.A. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1968. Vol. 58. pp. 1583–1606.
12. Field E.H., Jordan T.H., Cornell C.A. OpenSHA: A developing community-modeling environment for seismic hazard analysis. *Seismological Research Letters*. 2003. Vol. 74. pp. 406–419. DOI: 10.1785/gssrl.74.4.406.
13. Goulet C.A., Bozorgnia Y., Atkinson G.M. et al. NGA-East ground-motion characterization model part I: Summary of products and model development. *Earthquake Spectra*. 2021. Vol. 37(1_suppl). pp. 1231–1282. DOI: 10.1177/87552930211018723.
14. Pagani M., Monelli D., Weatherill G., Danciu L., Crowley H. et al. OpenQuake engine: An open hazard (and risk) software for the global earthquake model. *Seismological Research Letters*. 2014. Vol. 85. pp. 692–702. DOI: 10.1785/0220130087.
15. Poggi V., Parolai S., Silacheva N., Ischuk A., Abdrakhmatov K., Kobuliev Z. et al. Harmonizing seismicity information in Central Asian countries: earthquake catalogue and active faults. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2024. Vol. 24. pp. 2597–2613. DOI: 10.5194/nhess-24-2597-2024.
16. Silacheva N.V. On the probabilistic seismic hazard assessment in Kazakhstan. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2023. Vol. 41(2). pp. 1429–1437. DOI: 10.1007/s10706-022-02345-w.
17. Silacheva N.V., Kulbayeva U.K., Kravchenko N.A. Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations. *Geodesy and Geodynamics*. 2018. Vol. 9. pp. 131–141. DOI: 10.1016/j.geog.2017.11.002.
18. Youngs R., Coppersmith K. Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1985. Vol. 75. No. 4. pp. 939–964. DOI: 10.1785/BSSA0750040939.
19. 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. Vol. 14. pp. 4489–4503. DOI: 10.5194/essd-14-4489-2022.
20. Zhao J.X., Zhou Sh., Zhou J., Zhao Ch., Zhang H., Zhang Y., Gao P. 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. Vol. 106. No. 4. pp. 1552–1569.