



**НАО «Казакхский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева»**

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Геофизика и сейсмология

8D05303

Самостоятельная работа докторанта (СРД)

по дисциплине: *Сейсмогеофизические предвестники и стратегия прогноза землетрясений*

Тема: «Долгосрочный прогноз сейсмически опасных зон: Многолетняя цикличность хода
сейсмотектонического процесса»

Выполнил: докторант 1 курса

Рустем Н.Б.

Проверил: Доктор геолого-минералогических наук Абетов А.Е.

Астана– 2025



Целью данного исследования является демонстрация фундаментальной взаимосвязи между цикличностью сейсмотектонических процессов и возможностями долгосрочного прогнозирования сейсмически опасных зон. Мы стремимся показать, как понимание многолетних циклов накопления и разрядки напряжений в земной коре может служить основой для эффективного долгосрочного прогноза, что имеет критическое значение для снижения рисков.

Представленный материал является результатом комплексного анализа работ ведущих мировых и отечественных специалистов в области сейсмологии и геофизики, включая Рихтера, Гутенберга, Канамори, Аки, Ричардса, Медведева, Аптикаева, Улёмова, Сыдыкова, Садыковой, Абаканова, Хаина и Халилова. Их вклад позволил сформировать целостное представление о динамике сейсмических процессов и методах их прогнозирования.



Проблема сейсмической угрозы: Актуальность для Центральной Азии

Землетрясения представляют собой одну из наиболее разрушительных природных катастроф, неся угрозу человеческим жизням, инфраструктуре и экономическому развитию. В регионах с высокой сейсмической активностью, таких как Казахстан и Центральная Азия, эта угроза приобретает особое значение ввиду высокой плотности населения и расположения крупных городов в потенциально опасных зонах.

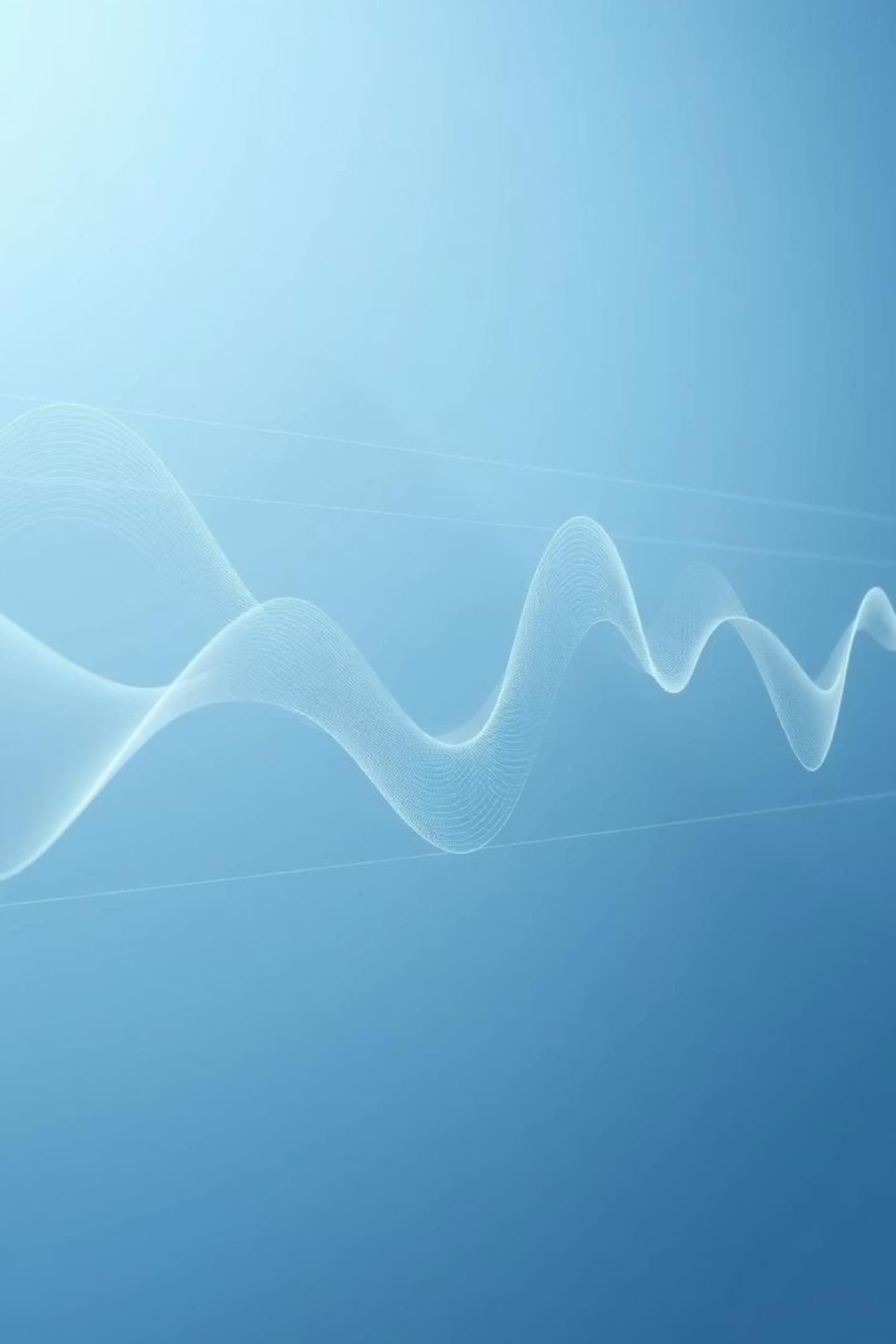
Последствия сильных землетрясений могут быть катастрофическими, вызывая массовые разрушения зданий, коммуникаций, транспортных систем и значительные человеческие жертвы. Долгосрочный прогноз сейсмической опасности позволяет заблаговременно идентифицировать наиболее уязвимые регионы, предоставляя время для разработки и реализации мер по снижению риска, таких как усиление строительных норм, планирование эвакуации и повышение осведомленности населения.

Сейсмотектонический процесс: Динамика напряжений и цикличность

Сейсмотектонический процесс является ключевым механизмом, отражающим динамику земной коры, где происходит непрерывное накопление тектонических напряжений, вызванных движением литосферных плит. Эти напряжения накапливаются до критического уровня, после чего происходит их разрядка в виде землетрясений вдоль существующих разломов или путем образования новых.

Принципиальной особенностью сейсмотектонического процесса является его выраженная цикличность. Периоды медленного накопления энергии сменяются фазами быстрой ее диссипации, что формирует основу для долгосрочного прогнозирования. Понимание этих циклов позволяет не только предсказывать области повышенной сейсмической опасности, но и оценивать временные рамки потенциально разрушительных событий.





Цикличность сейсмической активности: Пространственно-временные закономерности

Многолетняя цикличность сейсмической активности проявляется в чередовании периодов усиленной сейсмичности с периодами относительного затишья. Эти циклы могут длиться от нескольких десятков до сотен лет и характеризуются не только изменением количества и магнитуды землетрясений, но и их миграцией в пространстве.

Исследования таких ученых, как Хаин и Халилов, выявили четкие пространственно-временные закономерности в распределении сейсмических событий. Эти закономерности, связанные с волнообразным распространением деформаций и напряжений в земной коре, предоставляют ценную информацию для оценки будущих зон повышенной сейсмической опасности и определения критических фаз сейсмического цикла.

Долгосрочный прогноз: От данных к картам риска

Долгосрочный прогноз сейсмической опасности представляет собой сложную задачу, опирающуюся на комплексный анализ различных геологических и сейсмологических данных. Он базируется на глубоком понимании статистики землетрясений, включающей их частоту, магнитуду и глубину, а также на данных о современных деформациях земной коры, получаемых с помощью геодезических методов.

Важную роль в этом процессе играет геодинамическое моделирование, позволяющее имитировать накопление и разрядку напряжений в земной коре. Как отмечали Медведев и Кейлис-Борок, именно такие прогнозы, учитывающие многофакторный анализ, формируют основу для создания карт сейсмического районирования, которые являются ключевым инструментом для градостроительства и разработки мер по снижению рисков.

1

Сбор данных

Сейсмологические каталоги,
геодезические измерения,
геологические исследования.

2

Анализ и Моделирование

Статистический анализ,
геодинамические модели, прогнозные
сценарии.

3

Карта Риска

Зонирование территории по уровню
сейсмической опасности.

Методы прогнозирования: Интеграция подходов

В долгосрочном прогнозировании сейсмической опасности применяется три основных взаимодополняющих подхода. Статистический анализ, наиболее известный благодаря закону Гутенберга-Рихтера, позволяет оценить повторяемость землетрясений различных магнитуд в определенном регионе, выявляя эмпирические закономерности сейсмического режима.

Геодинамическое моделирование, развиваемое такими учеными, как Улёмов и Аптикаев, фокусируется на физических механизмах накопления и разрядки напряжений в земной коре, предсказывая области наибольшей вероятности будущих землетрясений.

Наблюдение современных движений земной коры с использованием высокоточных геодезических систем (GPS, InSAR), как показывают работы Садыковой и Нусипова, предоставляет прямые данные о деформациях, что позволяет выявлять активные разломы и зоны с повышенным уровнем напряжений. Совокупность этих методов обеспечивает комплексное понимание и позволяет выявить долгосрочные тренды сейсмической активности.



Статистический анализ

Оценка повторяемости землетрясений.



Геодинамическое моделирование

Физические механизмы напряжений.

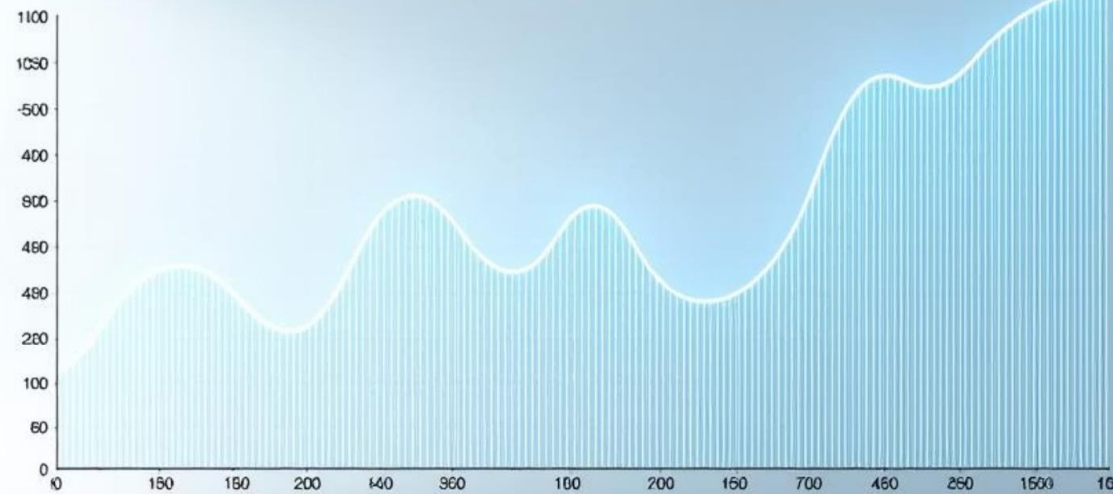


Наблюдение движений

Геодезические измерения деформаций.

Международная школа сейсмологии:

Количественные основы прогноза



Вклад международной сейсмологической школы стал краеугольным камнем в развитии количественных методов прогнозирования. Чарльз Рихтер ввел шкалу магнитуд, ставшую основой для сопоставления силы землетрясений. Бено Гутенберг и Чарльз Рихтер совместно сформулировали эмпирический закон повторяемости землетрясений, известный как закон Гутенберга–Рихтера, который описывает связь между числом землетрясений и их магнитудой.

Позже, Хироо Канамори предложил концепцию моментной магнитуды (M_w), которая более точно отражает энергию, выделяемую при землетрясении, особенно для очень сильных событий. Эти фундаментальные подходы легли в основу современных глобальных моделей долгосрочной сейсмической опасности, позволяя унифицировать и систематизировать данные по всему миру.

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10}(M_0) - 10.7$$

Закон Гутенберга–Рихтера ($\log N = a - bM$) и формула моментной магнитуды Канамори (M_w) являются основой количественной сейсмологии. Они позволяют статистически описывать распределение землетрясений по магнитудам и оценивать высвобожденную сейсмическую энергию, что критически важно для долгосрочных прогнозов.



Советская школа сейсмологии: Методология районирования

Советская школа сейсмологии внесла значительный вклад в развитие методологии сейсмического районирования и долгосрочного прогнозирования. Сергей Медведев разработал международную шкалу интенсивности MSK-64, которая стала стандартом для оценки последствий землетрясений в Восточной Европе и Азии. Его работы по сейсмическому районированию сформировали основу для построения карт общей сейсмической опасности.

Алексей Аптикаев глубоко исследовал колебания грунтов и спектры землетрясений, что позволило уточнить параметры движения грунта при различных сейсмических событиях. Виктор Улёмов разработал концепцию сейсмогеодинамики Евразии, выявив крупные сейсмоактивные структуры и их связь с глубинными процессами. Эти исследования заложили фундамент для долгосрочных прогнозов на территории СССР и последующих стран СНГ, а карты ОСР-78 (Общего Сейсмического Районирования) стали важным достижением, обеспечив нормативную базу для строительства.

Казахстанская школа сейсмологии: Региональная специфика

Казахстанская школа сейсмологии активно развивает методы долгосрочного прогнозирования, учитывая уникальные геодинамические условия региона. Сыдыков внес значительный вклад в изучение особенностей сейсмического режима землетрясений на территории Казахстана, выявив закономерности распределения очагов и их связи с тектоническими структурами.

Садыкова провела обширные исследования сейсмотектонических деформаций, что позволило уточнить современную динамику земной коры и оценить накопление напряжений в активных зонах.

Абаканов разработал методику составления карт детального сейсмического районирования (ДСР-2023), которая учитывает специфику мелких очагов землетрясений, часто представляющих высокую угрозу для плотнонаселенных территорий. Эти исследования играют ключевую роль в обеспечении сейсмической безопасности страны.





Заключение: Интегрированный подход к долгосрочному прогнозу

Долгосрочный прогноз сейсмической опасности является критически важным инструментом для обеспечения безопасности населения и устойчивого развития регионов. Он представляет собой сложный синтез статистических методов, геодинамического моделирования и инструментальных наблюдений за деформациями земной коры. Понимание многолетней цикличности сейсмотектонического процесса позволяет выявлять потенциально уязвимые зоны задолго до наступления катастрофических событий.

Для Казахстана, как и для всей Центральной Азии, где значительная часть населения проживает в сейсмоопасных районах, развитие и внедрение точных долгосрочных прогнозов имеет первостепенное значение. Это позволяет своевременно принимать меры по снижению рисков, такие как укрепление зданий, разработка планов экстренного реагирования и повышение готовности общества, что в конечном итоге спасает жизни и минимизирует экономические потери.