

УДК 550.34

Абдрахматов К.Е.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы, связанные с оценкой сейсмической опасности, основанной на комплексе геологических данных. Показаны современные направления мировой науки и достижения лаборатории сеймотектоники Института сейсмологии НАН КР.

Ключевые слова: оценка сейсмической опасности, геологические данные, землетрясение.

ГЕОЛОГИЯЛЫК МААЛЫМАТТАР ЖАНА СЕЙСМИКАЛЫК КООПТУУЛУККА БАА БЕРҮҮ

Кыскача мазмуну: Макалада сейсмикалык кооптуулукка баа берүү менен байланыштагы, геологиялык маалыматтар комплексине негизделген проблемалар каралат. Дүйнө илиминин заманбап багыттары жана КР УИАнын Сейсмология институтунун сеймотектоника лабораториясынын жетишкендиктери көрсөтүлөт.

Түйүндүү сөздөр: сейсмикалык кооптуулукка баа берүү, геологиялык маалыматтар, жер титирөө.

GEOLOGICAL DATA AND SEISMIC HAZARD ASSESSMENT

Abstract: A main problems of seismic hazard assessment based on geological data are considered. The directions of world science concerning of seismic hazard and achievements of Laboratory of seismotectonisc of Institute of seismology NAS KR are presented.

Keywords: seismic hazard assessment, geological data, earthquake.

Как известно, составленные ранее карты сейсмического районирования территории Кыргызской Республики основывались на идее комплексного подхода к районированию, с учётом геологических, геофизических и сейсмологических данных. Эта идея была воплощена в практику при составлении комплексной карты СР Чуйской впадины в 1975 году [1]. Дальнейшее развитие этой методики получило при составлении карт сейсмического районирования Иссыкульской впадины, Северо-востока и Юго-запада Ошской области, крайнего востока Кыргызстана и других районов [2,3].

Основным положением, которое лежало в фундаменте всех построений, являлось предположение о том, что сейсмический процесс в земной коре определяется двумя главными факторами: 1) характером и интенсивностью новейших и современных тектонических движений, 2) составом и строением подвергающегося деформации геологического объекта (макрослои, пласты, блоки и т.д.). Каждое произошедшее землетрясение зарождается в определённой геологической среде под воздействием тектонических напряжений. Здесь подразумевается комплекс разных по своим деформационным свойствам геологических тел, находящихся в различных структурных взаимоотношениях и поэтому по-разному реагирующих на прикладываемые извне тектонические усилия. В разных средах формируется разный сейсмический режим при одинаковых параметрах современной тектоники.

Роль геологической среды, как генератора землетрясений, разными авторами трактовались неоднозначно. Одни исследователи главенствующую роль придавали разломам [4], другие – крупным геологическим телам, таким как блоки, массивы, складчатые структуры

[5] или же влиянию прочностных свойств горных пород [6,7]. Для сеймотектонического анализа связи сейсмичности с региональными тектоническими структурами применяется также историко-структурный метод [8,9].

При разработке методических вопросов сейсмического районирования и оценки сейсмической опасности Кыргызской Республики и смежных с ней районов, наиболее приемлемым и практичным оказался «структурно-вещественный» подход к изучению древней структуры [9,10], наряду с привлечением данных по неотектонике, сейсмодислокациям (включая палео) и сейсмологического материала. К сожалению, в связи с некоторыми причинами, это направление впоследствии практически затихло и поддерживалось только работами К. Нурманбетова [11,12].

Что касается другой стороны, влияющей на особенности сеймотектонического процесса, а именно - характера и интенсивности новейших и современных тектонических движений – то набор геологических критериев сейсмичности здесь более обширен. В целом, эти критерии составляют два ряда: морфоструктурная зональность и динамика и кинематика движений. Первый из них отражает в основном региональный фон и очевидно, в неявном виде, структурно-вещественные перестройки в новейшее время. Второй включает в себя параметры новейших разломов (амплитуды и скорости смещений, кинематика разломы и др.), градиенты скорости вертикальной составляющей движений, относительные деформации изгиба складок основания и др. [3].

По мере накопления новых данных, появление и развитие новых подходов и методов сейсмического районирования привело к тому, что некоторые положения, которые считались основополагающими ранее, стали терять значение. Например, обнаружение палеосейсмодислокаций в Центральном Тянь-Шане [13 - 16] позволило выделить здесь зоны, наличие которых ранее не предполагалось вследствие отсутствия в этом районе очагов сильных исторических землетрясений. Это позволило также и иначе взглянуть на сейсмогенерирующую роль некоторых геологических факторов, например состава и строения подвергающегося деформации геологического объекта. Согласно ранним версиям карты сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (например, 1978), в центральной части Тянь-Шаня не предполагалось возникновения очагов сильных землетрясений, поскольку здесь развиты в основном породы меланократового основания, которые вследствие своей «пластичности» не могут накапливать большие тектонические напряжения. Однако, по всей видимости, в долговременном плане, постепенное накопление напряжений и их неполная разрядка слабыми событиями, может приводить к появлению очагов сильных землетрясений.

Появившиеся за последние 20-30 лет в мировой сейсмологии представления свидетельствуют о важнейшей роли палеосейсмологических данных при оценке долговременной сейсмической опасности, обуславливаемой событиями редкой повторяемости (раз в 1000 – 10000 лет). В наибольшей части территорий Земли, особенно там, где исторические сведения имеются за небольшой промежуток времени, именно палеосейсмологические данные позволяют наиболее объективно оценивать величину (магнитуду) редких сильных землетрясений и их период повторяемости [17].

Кроме того, произошел определённый крен от изучения особенностей характера и интенсивности новейших и современных тектонических движений к изучению особенностей так называемых «активных разломов». Основанием для отнесения разлома к категории активных служат свидетельства о хотя бы одной сейсмогенной подвижке по нему, произошедшей за последние несколько десятков тысяч лет. Исследования показывают, что многие новейшие разломы не являются активными на современном этапе (например, отдельные сегменты «линии Николаева») и поэтому должны привлекаться для анализа сейсмической опасности с определёнными оговорками.

Подчеркнём, что в качестве сейсмогенерирующих структур, с которыми могут быть связаны очаги сильных (потенциально опасных) землетрясений, нужно рассматривать не

отдельные частные разрывы, выявляемые в обнажениях и прослеживаемые в условиях горного рельефа на несколько километров, а именно крупные зоны разломов протяжённостью в десятки и сотни километров, способные вместить очаг землетрясения с большой магнитудой. Дополнительным косвенным признаком является наличие крупных скальных оползней и обвалов вблизи молодых разрывов, особенно, если имеются данные, указывающие на одновозрастность тектонических и гравитационных дислокаций и на невозможность обрушения склона без внешнего (сейсмического) воздействия [18,19].

Для оценки сейсмической опасности по данным об активных разломах необходимы следующие данные [20] :

1. Скорость смещения крыльев активных разломов в позднем плейстоцене-голоцене.
2. Повторяемость сейсмических событий, определённая палеосейсмологическими методами в зонах разломов.
3. Время, прошедшее с момента проявления последнего землетрясения в зоне изучаемого разлома.
4. Величина смещения, возникшая при единичном событии.
5. Геометрия разломов, позволяющая производить разделение разломов на участки с различным сейсмическим потенциалом.

Указанные данные являются основой для следующих важнейших исследований: А - выявление сегментации разломов и Б – разработка модели повторяемости. Изучение сегментации разломов позволяет понять процесс развития разломообразования во времени, обеспечивая физическую основу для прогноза возникновения следующих поверхностных разрывов. Кроме того, выявление максимальной протяжённости сегментов, возникающих в зонах разломов при сильных землетрясениях, позволяет использовать их как важный геометрический параметр для оценки максимально возможной магнитуды землетрясений. Это, в свою очередь, позволяет производить дифференциацию сейсмогенерирующих зон на участки с различной максимально возможной магнитудой.

При изучении этого параметра необходимо исследовать вопрос о поведении каждого сегмента во времени и его способности объединяться с соседними, или действовать независимо от других. Это определяет степень изменчивости размеров вспарываемой области, и, следовательно, и магнитуду сейсмического события, которое может произойти в той или иной зоне.

При изучении особенностей поведения и развития активных разломов выяснилось, что большинство разломов являются многосегментными, т.е. состоят из нескольких сегментов. Это утверждение имеет важные следствия для оценки сейсмической опасности [17].

Во-первых, предполагаемые многосегментные разрывы характеризуются намного большей длиной поверхностного разрыва, чем выделявшиеся до этого односегментные разрывы. Это означает, что, вероятно, происходили палеоземлетрясения с большей магнитудой.

Во-вторых, многие из предполагаемых односегментных разрывов характеризовались смещениями, аномально высокими для протяжённости этих разрывов. Это явление, обычно наблюдаемое на доисторических сбросовых уступах, называется «проблемой короткого толстого разлома» (short, fat fault problem). Например, смещения при палеоземлетрясениях, произошедших примерно 4.5 тыс. лет назад на сегментах зоны разлома Уосатч (США), составляли, согласно замерам в одной точке, соответственно 2.7 и 2.5 м, несмотря на то, что предполагаемые длины этих односегментных разрывов оценивались всего в 38 и 39 км, соответственно. Согласно некоторым исследованиям, разрывы длиной 38-39 км имеют среднюю величину подвижки всего 0.9м, что намного меньше по сравнению с наблюдаемыми значениями. Однако если принять, что единственное землетрясение 4.5 тыс. лет назад действительно привело к одновременному вспарыванию по обоим сегментам, как это допускается ограничивающими возрастными, тогда разрыв должен был иметь длину 77 км.

Разрывы такой длины сопровождаются средним смещением 1.7 м, что намного ближе к высоте уступов и смещениям, наблюдаемым на обоих сегментах. Таким образом, предположение о развитии многосегментных разрывов в зоне разлома помогает решить «проблему короткого толстого разлома» [17].

Поэтому проблема выделения сегментов и оценка возможности их объединения является весьма важной в оценке сейсмической опасности.

Модель повторяемости землетрясений описывается как скорость или частота повторения землетрясений различной магнитуды, включая максимальные на разломе или в регионе. Геологические данные в сочетании с сейсмологическими данными призваны обеспечить разработку модели повторяемости как для отдельных сегментов, так и для региона в целом.

Известно, что существует несколько моделей повторяемости землетрясений [17]. Обычно такие модели описывают частоту распределения интервала повторяемости между сильными (имеющими поверхностное выражение) землетрясениями. Например, согласно модели Рейда нет никаких вариаций во времени и палеособытия, восстановленные палеосейсмологическими методами, показывают различие в интервале повторяемости. Эта модель может основываться на традиционном использовании зависимости закона Гутенберга-Рихтера

$$\text{Log } N(m) = a - bm$$

Где $N(m)$ – общее количество землетрясений с магнитудой m и более, a и b – постоянные. Понятно, что геологические данные должны обеспечить график информацией для характеристики поведения нижней части графика повторяемости. Характеристика частоты распределения повторения для сильных землетрясений имеет два практических приложения. Первое из них свидетельствует о том, что мы не можем предсказать вероятность будущего землетрясения на разломе, пока мы не сможем определить среднее значение, вариации и тип распределения интервала повторения. Тип распределения повторения имеет сильное влияние на вероятность будущего землетрясения. Второе – мы не можем оценить, может ли землетрясение, возникшее на одном разломе, спровоцировать землетрясение на другом разломе, пока мы не докажем, что вариации повторяемости на втором разломе не зависят от таковых на первом разломе. Это может быть результатом статистической случайности.

Исследования сотрудников лаборатории «Сеймотектоники» Института сейсмологии НАН КР находится в фарватере мировой науки в области оценки сейсмической опасности. Впервые в Центральной Азии именно в Кыргызской Республике были начаты тренчинговые исследования в зонах активных разломов, которые позволили получить данные, проливающие свет на особенности их развития, повторяемость сильных землетрясений и другие параметры. Например, исследования, проведенные в зоне Иссык-Атинского разлома [13,14,16,21,22], имеющего непосредственное отношение к сейсмической опасности столицы Республики, показали, что выявленные ранее шесть сегментов зоны разлома, имеют тенденцию к объединению во время сильных землетрясений. Пока неясно, какие именно сегменты объединялись во время сейсмических событий, однако ясно, что магнитуда происшедших землетрясений была не менее 7.5.

Исследования, проведенные в зоне активного Кеминского разлома [23, 24] показали, что сильные землетрясения, приведшие к возникновению поверхностных нарушений, обладают способностью к кластеризации, т.е. сильные события происходят в течение достаточно короткого интервала времени (200-500 лет), а затем наступает сейсмическое затишье, продолжительностью 3000-5000 лет. Пока неясно, является ли законченным цикл сейсмической активности, проявившийся возникновением серией разрушительных землетрясений, имевших место в 19-20 вв. (Беловодское, 1885, $M=6.9$, Верненское, 1887, $M=7.5$, Чиликское, 1889, $M=8.3$, Кеминское, 1911, $M=8.3$).

Исследования активных разломов, проведенные в пределах Иссык-Кульской впадины и Кочкорской впадине, показали, что в прошлом здесь происходили достаточно сильные

землетрясения [25-27]. По-видимому, особенно активным здесь был период средневековья, когда здесь имели место несколько разрушительных событий [28,29].

Многочисленные исследования, проведенные с целью выявления новых активных разломов и палеосейсмодислокаций в пределах Тянь-Шаня, позволили уточнить сейсмическую опасность многих районов, ранее плохо обеспеченных геологическими данными.

Литература

1. Опыт комплексного сейсмического районирования на примере Чуйской впадины. Бишкек: Илим, 1975, 189 с.
2. Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины. Фрунзе: Илим, 1978, 152 с.
3. Детальное сейсмическое районирование Восточной Киргизии. Фрунзе: Илим, 1988.- 250 с.
4. Губин И.Е. Сейсмогенные разрывы и их значения для сейсморайонирования. //Геотектоника, 1974.- №6. С.29-40.
5. Горшков Г.П. Землетрясения на территории Советского Союза. Москва: Географ издат, 1949, 120 с.
6. Ружич В.В. Анизотропность земной коры центрального участка БАМ в связи с сейсмичностью. В кн.: Сейсмическая опасность и сейсмостойкое строительство БАМ. Иркутск, 1979, с 32-34.
7. Агамирзоев Р.А. Сейсмоструктура Азербайджанской части Большого Кавказа. Баку: Элм, 1987.
8. Петрушевский Б.А. Геологические условия возникновения землетрясений. //Сов. геология, №2, 1960, с 74-82.
9. Кнауф В.И. О связи между региональными сейсмическими зонами и докембрийскими структурами Тянь-Шаня. //Известия АН СССР, Физика Земли, 1973, № 5, с.35-45.
10. Кнауф В.И., Миколайчук А.В., Нурманбетов К. и др. Геологическая среда возникновения землетрясений Киргизии. Фрунзе: Илим, 1985, 87 с.
11. Нурманбетов К. Краткий обзор исследований геологической среды возникновения и размещения землетрясений в Кыргызской части Тянь-Шаня и сейсмичность. Известия НАН КР, 2013, №1, стр. 45 -51.
12. Нурманбетов К., Осмонбаева Ч.А. Ичкелетау-Сусамырский разлом- сейсмогенерирующая структура Северного-Тянь-Шаня. Известия НАН КР, №1, 2010, стр.81-86.
13. Абдрахматов К.Е. Четвертичная тектоника Чуйской впадины. Фрунзе: Илим, 1988, 118с.
14. Абдрахматов К.Е. Тектонические движения позднего плейстоцена и голоцена территории Кыргызской Республики. Автореф. дис....доктора геол. - мин. наук, Бишкек, Илим, 1995, 35с.
15. Абдрахматов К.Е., Лемзин И.Н. Палеосейсмичность Центрального Тянь-Шаня // Изв. АН Кирг. ССР, №4, 1990. С.21-25.
16. Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уилдон Р. Активная тектоника Тянь-Шаня. – Бишкек, Илим. 2007. С.70.
17. Палеосейсмология. Коллектив авторов под ред. Джеймса П. Мак Калпина: в 2-х томах. Том 2. Пер. с англ. И. А. Басов, И. Ю. Лободенко, А. Л. Стром; предисл. к рус. изд. и науч. ред. А. Л. Стром. – М.; Научный мир, 2011.- 400с.
18. Стром А.Л., Никонов А.А. Соотношения между параметрами сейсмогенных разрывов и магнитудой землетрясений // Физика Земли, 1997, № 12, с.55-67.
19. Стром А.Л. Количественные характеристики сейсмогенных разрывов и их использование в палеосейсмологии и инженерной геологии: Автореф. дис. канд. геол. - мин. наук. М., ОИФЗ РАН, 1998. 25с.

20. Wells D.L., Coppersmith K.J. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement // *Bull. Seismol. Soc. Am.* – 1994. – V. 84. – P. 974–1002.
21. Абдрахматов К.Е., Джумабаева А. Сегментация Иссык-Атинского разлома. В электронном журнале «Вестник Института сейсмологии НАН КР» (2014, №3, с.24-31).
22. Landgraf A., Dzhumabaeva A., Abdrakhmatov K., Strecker M., Arrowsmith J.r., Macaulay E., Preusser F., Rugel, Merchel S. Paloseismological investigations in the northern Tien Shan near Bishkek. Materials of International conference 2 Remote and Ground-based Earth Observations in Central Asia, Bishkek, September, 2014, pp.48-52.
23. Абдрахматов К.Е., Стром А.Л., Дельво Д., Хавенит Х., Виттори С. Временная кластеризация сильных землетрясений в Северном Тянь-Шане В электронном журнале «Вестник Института сейсмологии НАН КР» (2013, №1).
24. Абдрахматов К.Е., Джумабаева А.Б. Сегментация Кемино-Чиликской зоны активных разломов. // Вестник Института сейсмологии НАН КР 2013, №1, интернет-журн. URL: http://www.journal.seismo.kg/archive/journal_2013-1/article3.pdf
25. Selander Jacob., Oskin Michael., Ormukov Cholponbek., Abdrakhmatov Kanatbek. Inherited strike-slip faults as an origin for basement-cored uplifts : Example of the Kyngey and Zailiskey ranges, northern Tian-Shan. *Tectonics*, Vol. 31, №4 , tc 4026, 2012.
26. Абдрахматов К.Е., Осмонбаева Ч.А., Джумабаева А.Б., Ормуков Ч.А., Оскин, М, Дж. Селандер. Оценка сейсмической опасности северо-западного Прииссыкуля на основе данных об активных разломах. *Наука и новые технологии*, 2011, №1-2, стр.14-19.
27. Джумабаева А.Б. Сейсмогенные разрывы Кочкорской впадины. *Известия НАН КР*, №3, 2012. с.
28. Чаримов Т. Первый каталог палеосейсмодислокаций Тянь-Шаня // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Материалы совещания. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2007. – Т. 2. - С. 203-205.
29. Корженков А.М., Рогожин Е.А., Абдиева С.В., Лужанский Д.В., Юдахин А.С., Мажейка Й., Муралиев А., Фортуна А.Б., Чаримов А., Деев Е.В. О средневековых землетрясениях Прииссыкуля (Тянь-Шань) по данным археосейсмологии. Тезисы докладов Шестого Международного симпозиума. Бишкек, 2014, сс.376-380.