

УДК 550.34

Абдрахматов К.Е., Омуралиев М.,
Омуралиева А., Молдобекова С.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Аннотация: Приведены основы новой методики составления дифференцированной карты сейсмической опасности.

Ключевые слова: дифференцированная карта, сейсмическая опасность, вероятностная оценка, интенсивность сотрясений, закон затухания, пиковое ускорение грунта, пиковые скорости колебаний, сильные движения, макросейсмические данные, энергетический параметр, иерархия блоков, геометрия разломов, время повторения землетрясений, сейсмическая среда, время ожидания, вероятность проявления землетрясений, изосейсты землетрясений.

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН АЙМАГЫНЫН СЕЙСМИКАЛЫК КОРКУНУЧУНА БАА БЕРҮҮГӨ КАРАТА ЖАҢЫ ЫКМАЛАР

Кыскача мазмуну: Макалада сейсмикалык коркунучтун дифференцирленген картасын түзүүнүн жаңы методикасынын негиздери келтирилген.

Негизги сөздөр: Дифференциацияланган карта, сейсмикалык коркунуч, ыктымалдык баалоо, силкилдөөнүн күчөгөндүгү, толкундардын басандоо закону, жердин эң жогорку ылдамдануусу, термелүүнүн эң жогорку ылдамдыгы, жердин катуу кыймылы, макросейсмикалык маалымат, энергия параметри, блоктордун иерархиясы, жаракалардын геометриясы, жер титирөөлөрдүн кайталанышынын убактысы, сейсмикалык чөйрө, күтүү убактысы, жер титирөөлөрдүн болушунун ыктымалдыгы, жер титирөөлөрдүн изосейсттери.

NEW APPROACHES TO THE HAZARD ASSESSMENT FOR THE TERRITORY OF KYRGYZ REPUBLIC

Abstract: In the paper the outlines of new technique for differentiated seismic hazard mapping is presented.

Keywords: Differentiated map, seismic hazard, probabilistic assessment, intensity of shocks, attenuation law, peak ground acceleration (PGA), peak ground velocity (PGV), strong ground motion, macroseismic data, energy parameter, blocks' hierarchy, faults' geometry, repetition time of earthquakes, seismic medium, expectation time, probability of earthquakes' manifestation, earthquakes' isoseists.

Введение

В настоящее время достижения в различных областях сейсмологии позволяют составлять достаточно точные карты сейсмической опасности. Термин «сейсмическая опасность» означает вероятность проявления потенциальных разрушений от сейсмических колебаний земной поверхности в определённом месте в течение определённого интервала времени. В последнее время в мировой практике наиболее часто используется вероятностная оценка сейсмической опасности. При вероятностной оценке сейсмического воздействия на

сооружения и здания учитываются, в основном, три фактора: сила воздействия (интенсивность), спектральный состав колебаний и их длительность. При оценке силы воздействия используются такие параметры, как интенсивность сотрясений земной поверхности (в значениях ускорения, скорости или смещения) и закон затухания сейсмических колебаний для данного региона.

При оценке интенсивности сотрясений земной поверхности используется такой параметр, как ускорение колебаний грунта (ground motion acceleration), чаще всего описываемый термином «пиковое ускорение грунта» (PGA - Peak Ground Acceleration). Определение закономерностей затухания колебаний (ускорений или скоростей) в зависимости от расстояния до источника землетрясения является одной из наиболее важных проблем при оценке сейсмической опасности. Как правило, закон затухания существенно зависит от особенностей геологического строения и состава пород на земной поверхности и для различных регионов может существенно различаться.

Как правило, для целей общего сейсмического районирования (оценка сейсмического воздействия для большой территории), берётся среднее значение ускорений или скоростей [1]. Локальные грунтовые условия учитываются при детальном сейсмическом районировании и при микрорайонировании сейсмической опасности.

Инструментальные данные по сильным движениям довольно малочисленны и имеются только для ограниченного числа районов. Макросейсмические данные не всегда корректны для оценки закономерностей затухания (неравномерное расположение населённых пунктов с типичной застройкой, влияние рельефа и состава пород на интенсивность сотрясений и пр.). Поэтому всё чаще делаются попытки использования уже имеющихся закономерностей затухания, полученных для одних районов (регионов) как расчётным путем при помощи синтетических записей сильных движений, так и эмпирическим путём при анализе макросейсмических данных для оценки сейсмической опасности в других, более или менее, аналогичных районах (регионах).

Важно отметить, что объекты в пределах сейсмогенерирующей зоны подвергаются сейсмическому воздействию вследствие землетрясений, как с максимально возможными энергетическими параметрами (в частности M_{max}), так и от частых, более слабых землетрясений с энергетическими параметрами меньшими, чем M_{max} . При составлении карты сейсмической опасности учитываются все энергетические параметры комплексно. В связи с этим составление карты сейсмической опасности является необходимым и актуальным для решения научно-практических проблем сейсмологии на новом высоком уровне.

Методика составления карты сейсмической опасности

Как известно, среди основных факторов, определяющих закономерности развития сейсмического процесса в различных регионах, особое значение имеет динамика блоковых структур [2-22]. Новейшая структура Тянь-Шаня представляет собой иерархически построенную «мозаику» блоков, подвергающуюся тектоническим напряжениям и

находящуюся в условиях конвергентного взаимодействия Казахского щита и Таримской плиты (рисунок 1). Основными новейшими структурными единицами Тянь-Шаня являются зоны устойчивых поднятий (хребты-поднятия) и разделяющие их зоны устойчивых прогибаний (впадины-опускания). Границы этих зон представлены, как правило, унаследованными краевыми разломами, имеющими иногда сложную внутреннюю структуру, напоминающую структуру «шовного» типа. Геометрия разломов, в целом имеющих падение под ограничивающие впадины хребты, меняется с глубиной. Характерной чертой развития разломов в новейшем этапе является появление инверсионных зон высоких и низких предгорий в результате расширения поднятий в сторону впадин. В основу выделения блоков на рисунке 1 положен принцип «однотипной вергентности», т.е. в единый блок объединены часть области устойчивого прогибания (впадины) и надвигающийся на впадину блок, составляющие вместе своеобразную «динамопару» и обладающие сходной вергентностью. Предполагается, что тектонические напряжения в такой «динамопаре» схожи, что отражается в сейсмическом режиме выделенного блока. Отметим, что выделенные блоки имеют иную конфигурацию, чем, например, блоки, выделенные по режиму новейших движений [18].

В каждом выделенном блоке определялось соотношение (закон) Гутенберга-Рихтера [23] с коэффициентом достоверности аппроксимации R^2 . При этом анализ имеющегося каталога землетрясений показывает, что он довольно неоднороден, что связано, в первую очередь, с последовательным развитием сети сейсмических станций в данном регионе. Энергетический класс землетрясений $K = \lg E$ (Дж) по Раутиан [24] определялся систематически. Магнитуды землетрясений, такие как m_b , M_s определялись не всегда непосредственно по данным сейсмических волновых форм, а рассчитывались из эмпирических соотношений между K и M_s , а также между M_s и m_b с определёнными погрешностями.

Соотношение Гутенберга-Рихтера определялось для землетрясений с 1960 г., исключая афтершоки сильных землетрясений в пределах определённого блока, и имело следующий вид:

$$\lg N = a - bK, R^2 = c, \quad (1)$$

где N – средняя годовая частота землетрясений в определённом блоке, $K = \lg E$ (Дж) – энергетический класс землетрясения, a, b - коэффициенты, R^2 – достоверность аппроксимации. Из (1) следует, что

$$NE^b = 10^a, \quad (2)$$

где E – сейсмическая энергия. Выражение (2) означает, что произведение средней годовой частоты землетрясений на класс энергии есть постоянная величина. На основании выражения (1) - закона Гутенберга-Рихтера получим среднее время повторения землетрясения:

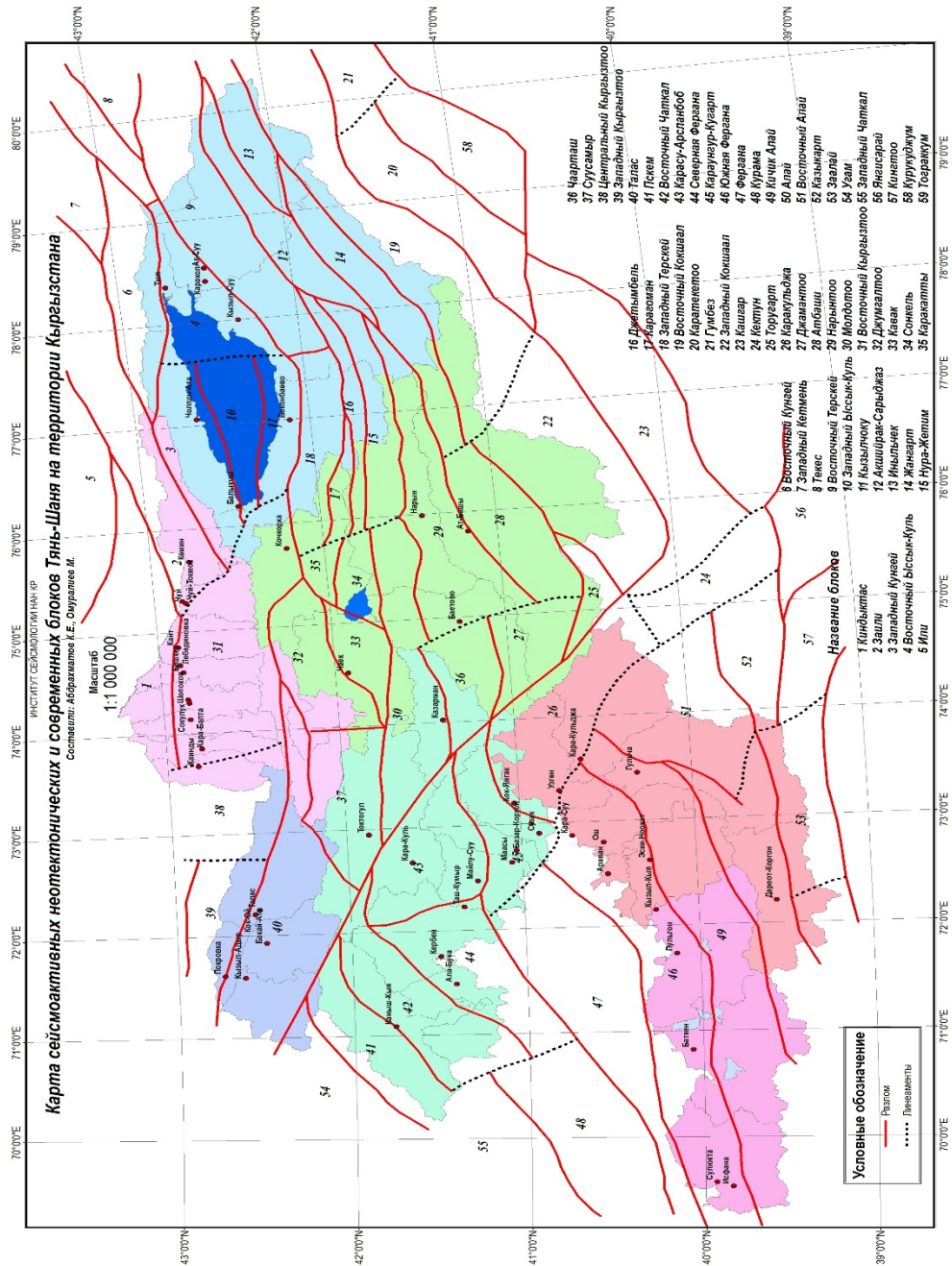


Рисунок 1. Карта блоков Тянь-Шаня, выделенных по принципу «однотипной вергентности».

$$\lg T = bK - a, R^2 = c, \quad (3)$$

где T - среднее время повторения землетрясения (год или лет). По-видимому, значения коэффициентов b и a в соотношениях (1-3), отражают свойства сейсмической среды. Соответственно, в различных активных блоках эти коэффициенты принимают разные значения. Отличаются также и количество землетрясений определённого энергетического класса K_m и интервал повторения таких землетрясений (T_i, i-го блока). Минимальное значение этих времен повторения T_{мин} может быть принято как время ожидания t ≤ T_{мин}.

Вероятность проявления землетрясения с энергетическим классом K_m :

$$P = (t/T_i) * 100, \quad (4)$$

где P – вероятность в процентах, T_i – время повторения землетрясения (лет), t – время ожидания землетрясения (лет). Следует отметить, что отдельно взятому (избранному) энергетическому классу K_m соответствуют определённые значения магнитуд и величина интенсивности (балл). В свою очередь, отдельно взятому значению интенсивности (таблица 1) [25] соответствуют определённые значения пиковых ускорений (%g или см/сек²) и значения пиковых скоростей колебаний (см/сек) [26-28].

Таблица 1.

Интенсивность, балл	Пиковое ускорение, % g и см/сек ²	Пиковая скорость, см/сек
I	<0,17 и < 1,6	<0,1
II - III	0,17 -1,4 и 1,6 - 13,7	0,1 -1,1
IV	1,4 – 3,9 и 13,7 - 38,2	1,1 – 3,4
V	3,9 – 9,2 и 38,2 - 90,2	3,4 – 8,1
VI	9,2 – 18 и 90,2 - 176,6	8,1 - 16
VII	18 – 34 и 176,6 - 333,5	16 – 31
VIII	34 – 65 и 333,5 - 667	31 – 60
IX	65 – 124 и 667 - 1216	60 – 116
X	>124 и >1216	>116

Получение надёжных региональных зависимостей пиковых ускорений грунта от магнитуды и расстояния затруднено из-за недостатка экспериментальных данных. В настоящее время мы располагаем базой данных волновых форм по записям ускорений, полученных для территории Тянь-Шаня. В эту базу вошло более 800 записей 99 землетрясений, полученных сетью сейсмических станций Казахстана и Киргизии (за единицу принята запись землетрясения одним прибором на одной компоненте). Распределение этих записей по магнитуде и по величине ускорений приведено на рисунке 2.

В ближней зоне получены лишь единичные записи сильных землетрясений, да и общее количество записей невелико. В сложившейся ситуации мы можем использовать зависимости, полученные в других регионах, исследуя их соответствие с нашими региональными данными. Будем полагать, что справедливы (в определённом приближении) выводы работы [29] – затухание ускорений от неглубоких землетрясений происходит примерно одинаково, независимо от региона.

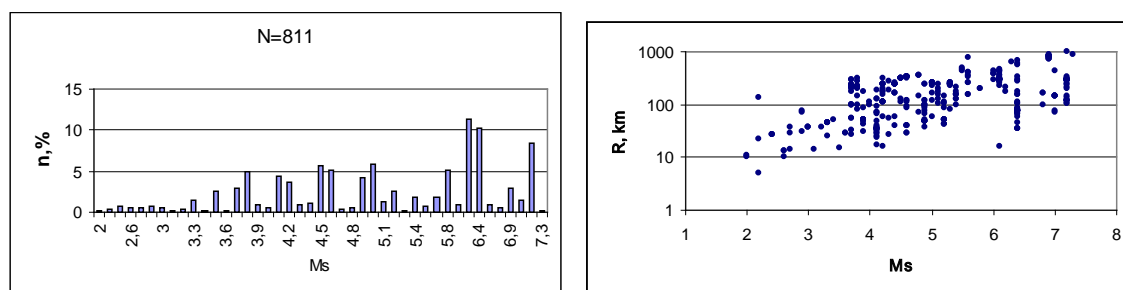


Рисунок 2. Слева - гистограмма распределения записей сильных движений по магнитуде, справа – зависимость магнитуды зарегистрированных землетрясений от эпицентрального расстояния [1].

Рассмотрим три закона затухания пиковых ускорений грунта, полученные разными авторами. Первый - эмпирический закон Аптикаева [25] (данные по отдельным регионам Мира, в том числе Тянь-Шаню):

$$\lg a = 0.28M - 0.8 \lg R + 1.7 + C_1 \rightarrow a \geq 160 \text{ см/сек}^2 \quad (5)$$

$$\lg a = 0.8M - 2.3 \lg R + 0.8 + C_2 \rightarrow 10 \leq a \leq 160 \text{ см/сек}^2,$$

где R – эпицентральное расстояние, M - магнитуда $M_{\text{ЛН}}$, C_1 - поправочный коэффициент на механизм очага (равен 0,2 - при взбросовой; 0,1 - при взбросо – сдвиговой; 0 – при сдвиговой, 0,1 - при сбросо-сдвиговой и 0.2 – при сбросовой подвижках), C_2 – поправочный коэффициент на типы грунта (равен – 0.15, 0, 0.15 при грунтах I, II, III категории, соответственно).

В качестве второго закона мы использовали соотношение [30], выведенное для области Юньнань (Южный Китай), где геологическая ситуация (впадины и хребты) сопоставимы с Тянь-Шанем:

$$\log a = 0.437 + 0.454 M_s - 0.739 \log R - 0.00279R \quad (6),$$

где a - ускорение в см/с^2 , M_s – магнитуда, R - самое короткое расстояние до эпицентра.

Третий закон [31] применялся Жаном и др. [32] для составления карты сейсмической опасности континентальной Азии, включая и наш регион. Этот закон основывается на интенсивности и данных сильных движений Китая и западной части США:

$$\ln a = 0.1497 + 1.9088 M_s - 2.049 \ln (R + 0.181 \exp (0.7072 M_s)) \quad (7),$$

где a - ускорение в см/сек^2 , M_s – магнитуда, R - самое короткое расстояние до эпицентра.

Следует отметить, что одним из недостатков применения указанных соотношений для крупных и сложных в геологическом отношении регионов является тот факт, что распределение ускорений получается слишком сглаженным [26]. Более того, соотношения рассчитаны на большие эпицентральные расстояния. Однако имеются некоторые ограничения и проблемы, которые не учитываются. Среди них - на длинных эпицентральных расстояниях регистрируются ускорения различных фаз волн; геофизическая среда неоднородна; поле ускорения зависит от глубины гипоцентра; затухания пиковых ускорений отличаются, как вдоль структуры, так и поперек неё и т.д.

Необходимо учитывать также, что изосейсты землетрясений (с наибольшей достоверностью аппроксимации) имеют форму эллипса. Соответственно, линии с одинаковыми значениями ускорения или скорости колебания также имеют форму эллипса. Длинная ось эллипса обычно расположена вдоль структур, а короткая – вкост их. Протяжённость осей, вероятно, предопределяются магнитудой, глубиной, механизмом землетрясения, геометрией активных разломов, направленностью излучения сейсмических волн и т.д. Первая изосейста сейсмической интенсивности оконтуривает очаговую и плейстосейстовую области с максимальными остаточными деформациями (в случае сильных событий) и пиковыми ускорениями. Эта изосейста, обычно смещена в одну сторону от эпицентра землетрясения, чаще всего – в направлении, перпендикулярном простиранию структур и в меньшей мере – вдоль структур. Фактический профиль затухания пиковых ускорений отдельного землетрясения (в простейшем случае) состоит из трёх участков. Первый участок пиковых ускорений в плейстосейстовой области расположен внутри первой изосейсты I_0 (на графике выражается в виде горизонтали – плато); второй участок - в виде крутого наклона и резкого затухания пиковых ускорений после точки перегиба (R_0) первой изосейсты; третий отрезок - пологий наклон, постепенное затухание пиковых ускорений. Эпицентральное расстояние первой изосейсты может быть определено на основании статистического эмпирического уравнения макросейсмического поля [33]. Протяжённость первой изосейсты ($\Delta_{\text{вд}}$) вдоль структур выражено следующей формулой:

$$\Delta_{\text{вд}} = (10^{2(1,5M+3,3-I_0)/3,4} - h^2)^{1/2} \quad (8),$$

а протяжённость первой изосейсты ($\Delta_{\text{вк}}$) вкост структур – формулой:

$$\Delta_{\text{вк}} = (10^{2(1,5M+4,4-I_0)/4,5} - h^2)^{1/2}, \quad (9)$$

где I_0 – значение первой изосейсты в баллах, M – магнитуда, h – глубина землетрясения в км. Длинная ось эллипса, вероятно равна:

$$a = 2\Delta_{вд}, \quad (10)$$

где $\Delta_{вд}$ – эпицентральное расстояние первой изосейсты вдоль структур.

Взаимосвязь магнитуды и отношение осей эллипса выражается эмпирической формулой [33]:

$$a/b = 0.5M - 1.5 \text{ при } M \geq 5, \quad (11)$$

a, b – длинная и короткая оси эллипса, M – магнитуда.

Подставляя (10) в (11) находим длину короткой оси эллипса вкrest простираения структур:

$$b = a(0.5M - 1.58) = 2\Delta_{во}(0.5M - 1.5). \quad (12)$$

$$\text{При этом величина: } b_1 = b - \Delta_{вк}, \quad (13)$$

представляет собой часть короткой оси эллипса близкой к эпицентру землетрясения, где $\Delta_{вк}$ – эпицентральное расстояние первой изосейсты вкrest простираения структур.

Рассмотрим, в качестве примера, фактические данные затухания пиковых ускорений (ПУ) Беловодского землетрясения (1885, $M=6.9$, $h=15$ км) [26]. Оно произошло в зоне Ысык-Атинского активного разлома. Начало затухания ПУ (точка R_0 первой изосейсты) вкrest простираения структур находилось на расстоянии около 12 км от эпицентра и в 6 км от линии разлома. В очаговой области величина ПУ (на участке 1 поля ПУ) составляла около 1200 см/сек² в соответствии со шкалой [26-28]. Затухание ПУ на участке 2 в северном направлении определяется формулой:

$$\lg a = 3.0791 - 0.1141 \lg R \rightarrow n_{пу}R < 11 \text{ км от } R_0, \quad (14)$$

на третьем участке соответственно:

$$\lg a = 3.7899 - 0.824 \lg R \rightarrow \text{при } R > 11 \text{ км от } R_0. \quad (15)$$

Начало затухания ПУ (точка R_0 первой изосейсты) в восточном направлении вдоль структур находилось на расстоянии около 18 км от эпицентра. Затухание ПУ на участке 2 в восточном направлении следующее:

$$\lg a = 3.1108 - 0.1332 \lg R \rightarrow n_{пу}R < 12 \text{ км от } R_0, \quad (16)$$

на третьем участке:

$$\lg a = 3.6446 - 0.6053 \lg R \rightarrow \text{при } R > 12 \text{ км от } R_0. \quad (17)$$

Графики затуханий ПУ вдоль и вкrest простираения структур приведены на рисунке 3. На графиках видно, что ПУ затухает быстрее вкrest простираения структур. На рисунке 4 приведены графики затуханий ПУ этого же Беловодского землетрясения по двум законам затухания пиковых ускорений грунта [30, 31]. Для чего была определена магнитуда M_s по эмпирическим формулам [34, 35]:

$$M_{LH} = 1.19 + 0.82M_s \quad (18)$$

$$K = 4 + 1.8M_s, \quad (19)$$

где K – энергетический класс, M_{LH}, M_s – магнитуды. Величина магнитуды M_s при $M_{LH}=6.9$ и $K=16.5$ составляет $M_s=6.94-6.96$. Для расчёта по двум законам затухания ПУ принято $M_s=6.96$ и на рисунке 2 приведены графики. ПУ быстрее затухает по второму закону [31].

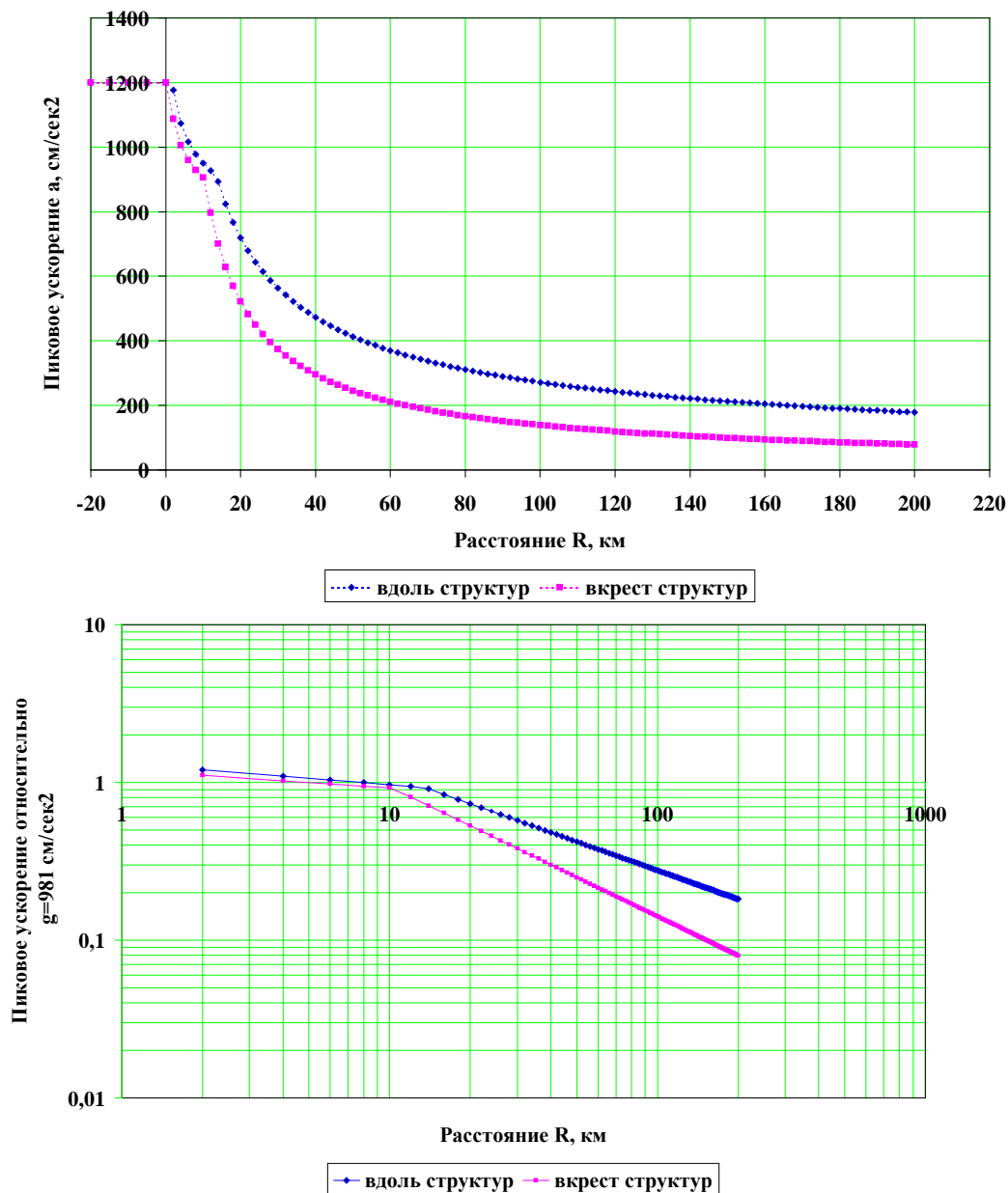


Рисунок 3. Затухание пиковых ускорений колебаний грунта вдоль (в восточном направлении) и вкrest (в северном направлении) простираения структур Беловодского землетрясения (1885, $M=6.96$, $h=15$ км). Вверху - графики в обычном масштабе, внизу - графики в логарифмическом масштабе.

Величины ПУ по первому закону [30] завышены до двух раз, относительно фактических данных. Затухания по обоим законам более быстрые по сравнению с данными фактического затухания. Следует отметить, что в этих законах приняты не совсем корректные предпосылки, именно, предполагается, что затухание начинается от эпицентра - от точки. В самом же деле, затухание ПУ начинается от очаговой области и отличается вдоль и вкrest простираения структур. На профилях выделяются участки, где отмечены зоны на плане (по крайней мере, три) с различными темпами затухания.

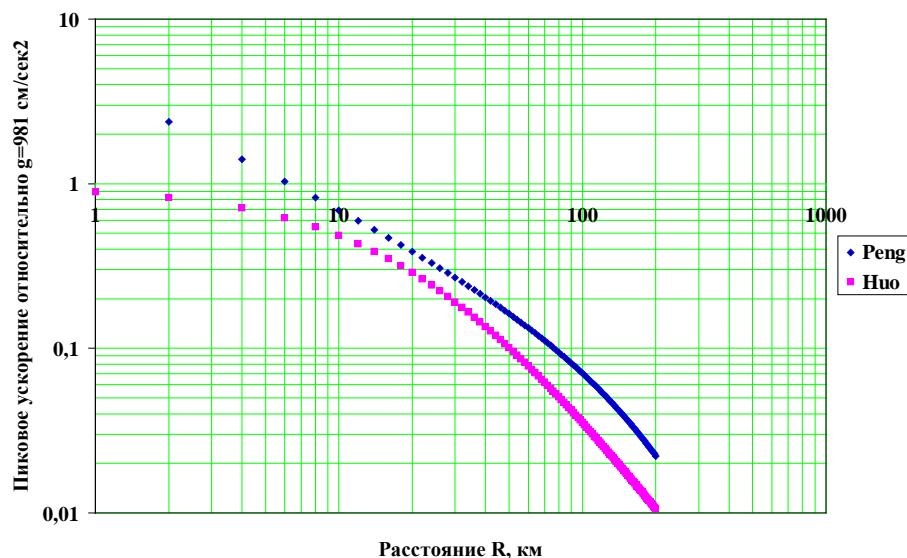


Рисунок 4. Графики затухания пиковых ускорений колебаний грунта по двум законам затухания ПУ [30, 31] для магнитуды $M_s=6.96$ Беловодского землетрясения (1885).

В связи с этим для повышения точности оценки затухания пиковых ускорений (ПУ) нами обобщены затухания пиковых ускорений исторических землетрясений (например, Суусамырского землетрясения, $M=7.3$, 1992 г.) в пределах выделенных ранее сейсмогенерирующих зон [26], таких как Северо-Тяньшаньская, Срединно-Тяньшаньская, Таласо-Ферганская, Каржантау-Атойнокская, Северо-Ферганская, Южно-Ферганская, Гиссаро-Алайская, Кельпинтаг-Кокшаалская и Дарваз-Каракульская. Эти зоны имеют субширотные и северо-восточные простирания. Исключением являются Таласо-Ферганская зона, которая простирается в северо-западном (юго-восточном) направлении и Дарваз-Каракульская зона, дугообразно огибающая Северный Памир. Были определены статистические закономерности затухания пиковых ускорений вдоль и поперек структур с учётом глубины землетрясений [26].

Следует отметить, что для зданий и сооружений опасны практически землетрясения с интенсивностью 6 и более баллов с соответствующими пиковыми ускорениями и другими параметрами. Особенность предлагаемой методики составления карт сейсмической опасности состоит в том, что строятся карты среднего времени повторения и вероятности проявления каждого класса, начиная с класса интенсивности $I_0=6$ балл и далее для 7, 8, 9, 10 и т.д. баллов. При этом базовыми данными являются сейсмоактивные блоки и закон Гутенберга-Рихтера.

Сейсмоактивные блоки территории Кыргызстана и сопредельных районов соседних стран

Как выше отмечено, сейсмоактивные блоки, ответственные за сильные землетрясения являются базой для составления карты сейсмической опасности. В связи с этим представляется интересным рассмотреть современное блоковое строение Тянь-Шаня – области, в пределах которой за последние 100 лет произошли такие землетрясения как Верненское 1887г. ($M=8.7$), Чиликское 1889 ($M=8.3$), Кеминское 1911 ($M=8.7$), Кемино-Чуйское 1938 ($M=6.5$), Сарыкамышское 1970 ($M=6.8$), Жаланаш-Тюпское 1978 ($M=6.6$) и другие. Имеются исторические сведения о более ранних сейсмических событиях [20].

Согласно исследованиям [2, 16], наиболее характерной таксономической единицей в иерархии блоковых структур являются макроблоки. Например, Иссык-Кульская впадина и её горное обрамление являются дивергентной мегаструктурой первого порядка. Все складки основания Кунгейских мегаблоков имеют северную асимметрию, а Терскейских – южную.

Микроблоки южной асимметрии встречаются лишь по северо-западному и северо-восточному краю Кунгейского поднятия. Обобщенная ось Предтерсейского прогиба (южная часть Иссыккульской впадины) имеет выпуклость к северу, так же как и всё Терсейское поднятие. Региональная выпуклость к северу Кунгейского поднятия образуется за счёт изменения простирания осей горст-антиклиналей с северо-восточного (на западе) на субширотное (в центре) и юго-восточное (на востоке), а также кулисного расположения структур. Илийское и Кунгейское поднятия образуют конвергентный ансамбль горст-антиклинальных структур, при этом восточная часть Кеминского грабена находится в условиях сжатия и в менее напряжённом состоянии - расширяющийся к востоку Чарыно-Илийский клин, в пределах которого горст-антиклинальные структуры имеют различную асимметрию.

Расположенный западнее Киргизский мегаблок разделяется поперечным линеamentом на Западно-Киргизский южновергентный блок и Центрально-Киргизский северовергентный блок (рисунок 1). Природа поперечного линеamenta не совсем ясна, однако очевидно, что разломы, совпадающие или близкие с ним по простиранию могут иметь значительную сдвиговую составляющую. Восточная часть мегаблока находится в условиях преобладающего тангенциального сжатия.

По указанному принципу выделены также блоки и в целом для территории всего Кыргызского Тянь-Шаня, который представляет собой иерархически построенную “мозаику” блоков, подвергающуюся тектоническим напряжениям и находящуюся в условиях конвергентного взаимодействия Казахской стабильной платформы и Таримской плиты. На южной части Казахстанского щита выделяются активные блоки: Или - 4, Киндиктас - 5. На северной, северо-западной частях Тарима формировались активные блоки: Кашгар - 37, Татыртоо - 38, Каратекеттоо - 39, Гумбез - 40, Кельпинчольтаг - 41, Курукужум - 42, Тограккум - 43, Каражулгун - 44.

В Центральном блоке Тянь-Шаня, ограниченном с запада Таласо-Ферганским разломом, выделяются активные блоки: Западный Кыргызтоо - 1, Центральный Кыргызтоо - 2, Восточный Кыргызтоо - 3, Заили - 6, Западный Кунгей - 7, Восточный Кунгей - 8, Западный Кетмень - 9, Западный Иссык-Куль - 10, Кызылчоку - 11, Восточный Иссык-Куль - 12, Южный Кетмень - 13, Текес - 14, Талас - 15, Суусамыртоо - 16, Джумгалтоо - 17, Кавак - 18, Каракатты - 19, Сонкель - 20, Карагоман - 21, Западный Терсей - 22, Восточный Терсей - 23, Молдоттоо - 24, Жетимбель - 25, Нура-Жетим - 26, Акшыйрак-Сарыджаз - 27, Чаарташ - 28, Нарынтоо - 29, Иньльчек - 30, Жамантоо - 31, Атбаши - 32, Жангарт - 33, Торугарт - 34, Западный Кокшаал - 35, Восточный Кокшаал - 36.

В Западном сегменте Тянь-Шаня, ограниченным с востока Таласо-Ферганским разломом, имеются активные блоки: Угам - 46, Пскем - 47, Западный Чаткал - 48, Восточный Чаткал - 49, Курама - 50, Северная Фергана - 51, Карасу-Арсланбоб - 52, Фергана - 53, Караунгур-Кугарт - 54, Южная Фергана - 55, Кичик-Алай - 56, Каракульджа - 57, Алай - 58, Восточный Алай - 59, Кектун - 60.

На северной части Памира выделяются активные блоки: Западный Заалай - 61, Заалай - 62, Казыкарт - 63, Кингтоо - 64, Янгисарай - 65.

Предполагается, что каждому из выделенных выше блоков, в силу различий в вещественном составе, слагающих блок пород и различий в геодинамической позиции, скоростей смещения, ограничивающих блоки разломов и др., свойственен определённый сейсмотектонический потенциал, который реализуется в виде землетрясений с различными энергетическими параметрами. Закон Гутенберга-Рихтера отражает различия в указанном потенциале и указывает на характерные особенности разрядки напряжений в каждом отдельно взятом блоке.

Опыт изучения особенностей сейсмичности в регионе показывает, что в последовательности проявления землетрясений могут быть выделены периоды сейсмической активизации и затишья. На пиках сейсмической активизации обычно проявляются

относительно сильные землетрясения, а в периоды сейсмических затиший – сравнительно слабые землетрясения.

Отметим также, под периодом повторяемости (время между любыми двумя периодами сейсмической активизации), мы понимаем характеристику сейсмического режима, устанавливаемую статистически по совокупности данных. Для интервала между конкретными, сопоставимыми по величине событиями мы будем применять термин «интервал повторения». Отметим, что период повторяемости в этом случае является своеобразным сейсмическим циклом, к которому применимы понятия завершённого (закрытого) или незавершённого (открытого). В случае «интервала повторения» для землетрясений больших магнитуд большие части сейсмических циклов могут быть «скрыты», а сами сейсмические циклы - неполны.

Закон Гутенберга-Рихтера активных блоков

Соотношение Гутенберга-Рихтера [23], (по данным каталога землетрясений Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики), определённое в каждом активном блоке является главной геодинамической основой карты сейсмической опасности (таблица 2). Изменение величин b (от 0,2 по 0,69) и a (от 1,2 до 6,3) означает, что они отражают определённые сейсмические свойства среды активных блоков. Достоверность аппроксимации R^2 графика повторяемость достигает $R^2 = 0,99$. Исключением является блок Западный Кыргызтоо, где $R^2 = 0,80$, а также блоки: Западный Чаткал, Суусамыр, Восточный Иссык-Куль, Восточный Терскей, Иньльчек, Нура-Жетим, где $R^2 = 0,87-0,88$. Эти значения достоверности аппроксимации графика обусловлены дефицитом землетрясений некоторого энергетического класса, т.е. связаны с большой степенью дискретности сейсмогенных разрывов.

Интересно рассмотреть соотношение Гутенберга – Рихтера в определённом блоке в разные периоды времени. Например, в Суусамырском блоке, где произошло сильное одноименное землетрясение (1992, $K=17$). Каталог землетрясений для этого района относительно однородный с 1946 г. Закон Гутенберга-Рихтера за период 1946-1991 гг., т.е. до Суусамырского землетрясения выражается формулой:

$$\lg N = -0.3472K + 2.9199, R^2 = 0.8012, \quad (20)$$

где N – средняя годовая частота, $K(\pm 0.5) = \lg E$ (Дж) энергетический класс (например, $K=12$ находится в интервале 11,6-12,5), R^2 – достоверность аппроксимации. Повторяемость за период 1946-2010 гг., включая афтершоки Суусамырского землетрясения, выражается формулой:

$$\lg N = -0.3526K + 3.7052, R^2 = 0.8974, \quad (21)$$

а без афтершоков:

$$\lg N = -0.2757K + 2.3998, R^2 = 0.8156. \quad (22)$$

Из выражений (20), (21), (22) следует, что возникновение сильного землетрясения привело к изменению соотношения Гутенберга – Рихтера, что, впрочем, естественно.

Таблица 2.

Сейсмоактивные блоки Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и прилегающих районов соседних стран, повторяемость землетрясений по Гутенбергу-Рихтеру [23] и интервал повторения землетрясений разного энергетического класса с $K (\pm 0.5) \geq 12$

№	Название сейсмически активного блока	Повторяемость $\lg N = a - bK$		Дост. аппрок. R^2	Интервал повторения землетрясений, (год)				
		a	b		T_{12}	T_{13}	T_{14}	T_{15}	T_{16}
1	Западный Кыргызтоо	1.902	0.283	0.80	31.2	59.8	114.8	220.3	422.6
2	Кыргызтоо	2.766	0.335	0.98	17.9	38.8	83.9	181.5	392.6
3	Восточный Кыргызтоо	4.267	0.447	0.96	12.5	35	98	274.1	767.4
4	Или	4.281	0.457	0.98	16	45.7	130.9	374.9	1074
5	Киндыктас	4.644	0.522	0.96	41.6	138.6	461	1534.6	5105
6	Заили	4.400	0.440	0.98	7.6	20.8	57.5	158.4	436.5
7	Западный Кунгей	3.262	0.382	0.99	20.9	50.6	121.8	293.7	707.9
8	Восточный Кунгей	3.499	0.353	0.90	5.4	12.3	27.7	62.5	140.9
9	Западный Кетмень	2.404	0.339	0.93	46.1	100.6	219.7	479.7	1047
10	Западный Иссык-Куль	1.209	0.205	0.97	17.8	28.6	45.8	73.4	117.8
11	Кызылчоку	3.170	0.350	0.98	10.7	24	53.7	120.2	269.2
12	Восточный Иссык-Куль	3.863	0.437	0.88	24	65.7	179.9	492	1345.8
13	Южный Кетмень	4.006	0.474	0.98	48	143.2	426.6	1270.6	3784.4
14	Текес	3.156	0.364	0.93	16.2	37.6	87	201.3	465.6
15	Талас	4.101	0.428	0.93	10.8	29	77.8	208.4	558.4
16	Суусамыр	2,399	0.275	0.84	8.1	15.2	28.8	54.4	102.6
17	Джумголтоо	3.659	0.431	0.92	32.6	87.9	237.1	639.7	1725
18	Кавак	1.970	0.318	0.99	70.1	145.8	303.4	630.9	1312
19	Каракатты	1.867	0.298	0.98	51.1	101.6	201.8	400.8	796
20	Сонкель	1.603	0.301	0.99	102	204	408.3	816.6	1633
21	Карагоман	1.992	0.330	0.97	92.8	198.6	424.6	907.8	1940
22	Западный Терскей	2.907	0.317	0.97	7.8	16.4	33.9	70.4	146.2
23	Восточный Терскей	3.570	0.358	0.88	5.3	12.1	27.6	63	143.8
24	Молдотоо	4.293	0.444	0.95	10.8	30.1	83.7	232.8	647.1
25	Жетимбель	2.374	0.338	0.97	48	104.7	228	496.6	1081
26	Нура-Жетим	3.624	0.439	0.87	44	121	332.6	914.1	2512
27	Акшийрак-Сарыджаз	3.616	0.412	0.83	21.2	54.9	142	366	946
28	Чаарташ	3.479	0.431	0.91	49.3	133	358.9	968.3	2612
29	Нарынтоо	3.297	0.353	0.98	8.6	19.6	44.2	99.5	224.4

30	Иньльчек	3.745	0.412	0.88	15.8	40.8	105.4	272.2	703
31	Джамантоо	4.177	0.468	0.90	27.4	80.7	237.1	696.6	2046
32	Атбаши	3.146	0.388	0.94	32.3	79	193.2	472	1153
33	Жангарт	3.281	0.395	0.98	28.8	71.4	177.4	440.5	1094
34	Торугарт	2.080	0.301	0.99	34	68	136	272.2	544.5
35	Западный Кокшал	4.851	0.473	0.94	6.6	19.8	59	175.4	521.2
36	Восточный Кокшал	4.588	0.419	0.95	2.7	7.2	19	49.8	130.6
37	Кашгар	4.6361	0.397	0.98	1.3	3.3	8.3	20.8	52
38	Татыртоо	4.586	0.430	0.94	3.7	10	27.2	73.1	196.8
39	Каратекетоо	4.198	0.37	0.95	1.74	4	9.6	22.5	52.7
40	Гумбез	3.818	0.426	0.96	19.6	52.4	140	373.2	995.4
41	Кельпин чельтаг	3.444	0.344	0.94	4.8	10.6	23.6	52	114.8
42	Курукужум	3.157	0.346	0.91	9.8	21.9	48.6	107.8	239.3
43	Тограккум	5.568	0.500	0.90	2.7	8.5	27	85	
44	Каражулгун	3.572	0.350	0.92	4.2	9.5	21.2	46.6	106.6
45	Безимен	3.547	0.408	0.976	22.3	57.1	146.2	374	957
46	Угам	3.605	0.376	0.96	8	19.2	45.6	108.4	257.6
47	Пскем	3.571	0.388	0.98	12.1	29.7	72.6	177.4	433.5
48	Западный Чаткал	5.958	0.690	0.88	210	1028	5035	24660	
49	Восточный Чаткал	3.151	0.348	0.96	10.6	23.6	52.6	117.2	261.2
50	Курама	5.063	0.540	0.95	26.1	90.6	314	1089	3776
51	Северная Фергана	5.411	0.496	0.976	3.4	10.8	34.1	106.9	335
52	Карасу-Арсланбоб	6.251	0.607	0.98	10.8	43.6	176.6	714.5	2890
53	Фергана	4.881	0.459	0.98	4.2	12.2	35	100.9	290.4
54	Караунгур-Кугарт	4.722	0.441	0.95	3.7	10.2	28.3	78.2	215.7
55	Южная Фергана	5.372	0.479	0.95	2.4	7.2	21.6	65	195.8
56	Кичик - Алай	5.522	0.494	0.98	2.5	7.9	24.8	77.2	241
57	Каракульджа	4.909	0.471	0.96	5.5	16.4	48.4	143.2	423.6
58	Алай	5.784	0.539	0.99	4.8	16.7	57.8	200	691
59	Восточный Алай	4.595	0.445	0.95	5.6	15.4	43.1	120.2	335
60	Кектун	4.66	0.421	0.97	2.4	6.5	17.1	45.2	119.1
61	Западный Заалай	6.307	0.559	0.98	2.5	9.1	33	119.6	433.5
62	Заалай	5.144	0.420	0.99	0.8	2.11	5.5	14.6	38.4
63	Казыкарт	4.980	0.442	0.98	2.2	6.2	17.3	47.8	132.4
64	Кингтоо	4.552	0.416	0.97	2.7	7.2	18.7	48.7	127
65	Янгисарай	4.318	0.397	0.95	2.8	7	17.4	43.3	108.1

Средний интервал повторения землетрясений в активных блоках

На основании закона Гутенберга-Рихтера [23] и формулы (3) определялся средний интервал повторения (T_K) определённого энергетического класса в каждом активном блоке (см. таблицу 2). Для анализа взяты следующие значения энергетических классов: $K=12$ (в диапазоне 11,6-12,5), $K=13$ (12,6-13,5), $K=14$ (13,6-14,5), $K=15$ (14,6-15,5), $K=16$ (15,6-16,5) и т.д. Соответственно, поскольку энергетический класс находился в определённом диапазоне ($\pm \Delta K = \pm 0.5$) то средний интервал повторения расположен в соответствующем диапазоне времени ($\pm \Delta T$).

Время ожидания и вероятность проявления землетрясения в активных блоках

На основании данных о средних интервалах повторения определённого класса землетрясения в каждом активном блоке (см. таблицу 2) выбрано минимальное значение среднего интервала повторения T_{\min} . Так, для землетрясения с энергетическим классом $K(\pm 0,5) = 12$ значение среднего интервала повторения составляет $T_{\min} = 2$ года. Данное минимальное значение среднего интервала повторения представляет собой время (t) ожидания землетрясения. По формуле (4) (для отдельно взятого энергетического класса с соответствующей сейсмической интенсивностью, магнитудой и пиковым ускорением) определены вероятность проявления (в процентах) ожидаемого землетрясения с заданным временем ожидания и нанесены на каждый активный блок территории Кыргызстана.

Следует отметить, что имеющиеся сейсмические статистические данные отражают сейсмичность и сейсмический режим за последние несколько десятков лет. Каталоги землетрясений для большинства сейсмоактивных блоков территории Кыргызстана относительно однородны с 1960 г., а на других блоках - с 1946 г. и т.д. В связи с этим закон Гуттенберга – Рихтера – повторяемости землетрясений за эти периоды отражает современную сейсмическую ситуацию и может быть перенесён на период недалекого будущего.

В сейсмоактивных блоках, где в недавнем прошлом происходили сильные землетрясения, повторяемость землетрясений изменяется за период до главного толчка и за весь рассматриваемый период; выделяются верхний и нижний пределы времени повторения и вероятность проявления ожидаемого землетрясения. В связи с этим можно отметить, что Карта сейсмической опасности учитывает время в явном виде, в долгосрочном плане. По мере накопления сейсмических статистических данных, т.е. наращивании каталога землетрясений будет повышаться достоверность определения времени повторения и вероятность проявлений событий на активных блоках.

Заключение

1. Впервые разработана методика оценки и составления дифференцированной карты сейсмической опасности территории Кыргызской Республики.
2. При составлении карты сейсмической опасности будет отражена дифференцированная опасность: средняя повторяемость (в годах) и вероятность (в процентах) конкретной интенсивности I_0 (начиная от землетрясений с интенсивностью 6 балл и выше), магнитуды, определённого энергетического класса, K , активных блоков, тогда как Карта сейсмического районирования основывается на данных только о зонах с максимумами магнитуды M_{\max} . Точность карты будет повышаться по мере дополнения/накопления каталога землетрясений.
3. При относительно точном определении затухания пиковых ускорений локальных районов предпочтительны закономерности затухания пиковых ускорений, выявленные в пределах конкретных сейсмогенерирующих зон, чем общие и региональные сильно сглаженные законы затухания пиковых ускорений (например, соотношения Аптикаева, Пенга и др.).

Литература

1. Абдрахматов К.Е. Внутриконтинентальное горообразование и сейсмическая опасность (на примере Тянь-Шаня). Бишкек, «Инсанат», 2013, 120 с.
2. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan. Bishkek, 2004, 166 p.
3. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М., Наука, 1991, 96 с.
4. Абдрахматов К.Е., Уилдон Р., Томпсон С., Бурбанк Д., Рубин Ч., Миллер М., Молнар П. Происхождение, направление и скорость современного сжатия Центрального Тянь-Шаня (Киргизия). //Геология и геофизика, 2001, т.42, №10, с.1585-1610.
5. Абдрахматов К.Е., Томсон С., Уилдон Р., Дельво Д., Клеркс Ж. Активные разломы Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии. 2001, №2.
6. Богданович К.И., Карк И.М., Корольков Б.Я., Мушкетов Д.И. Землетрясения в северных цепях Тянь-Шаня, 22 декабря 1910 года (4 января 1911 года). СПб., 1914, 270 с. (Тр. Геолкома., вып. 89).
7. Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А. Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне. // Геология и геофизика, 2001, т. 42, №10, с.1484-1497.
8. Курскеев А.К., Тимуш А.В. Альпийский тектогенез и сейсмогенные структуры. Алма-Ата, Наука, 1987, 179 с.
9. Материалы для изучения землетрясений России. Вып. 2. Под ред. И.В. Мушкетова, СПб., 1891, с.11-46.
10. Месхетели А.В., Кузнецов Д.В., Бучкина Н.А. Исследование подземного стока в озере Иссык-Куль. /Гидрологические исследования межгорных впадин. Фрунзе, Илим, 1985.
11. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. М., Наука, 1977, 240 с.
12. Омуралиев М. Карта новейшей тектоники территории Кыргызстана. Ташкентская картфабрика, 1988.
13. Омуралиев М. Карта сеймотектоники территории Кыргызстана. Ташкентская картфабрика, 1988.
14. Паталаха Е.И., Чабдаров Н.М. Условия образования рельефа Северного Тянь-Шаня и вероятный механизм процесса. // Сеймотектоника некоторых районов юга СССР. М., Наука, 1976, с.80-90
15. Садыбакасов И. Неотектоника Высокой Азии: М, Наука, 1990, 176 с.
16. Трофимов А.К. Четвертичные отложения Иссык-Кульской впадины в связи с тектоникой. // Изв. АН Кирг. ССР, 1990, №1.
17. Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М., Научный мир, 1999, 252 с.
18. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1986, 313 с.
19. Чедия О.К., Джумадылова Ч.К., Трунилин С.И. Предтерсейский краевой разлом в междуречье Джеты-Огуз-Тоссор. // Изв. АН Кирг. ССР, 1988, №1, с.79-88
20. Abdrakhmatov K., Haveenith H-B., Delvaux D., Jongmans D., Trefois P. Probabilistic PGA and Arias Intensity maps of Kyrgyzstan (Central Asia). //J. Seism. 2003, 7, 1-18
21. Delvaux D., Abdrakhmatov K.E., Lenzin I.N., and Strom A.L. Landslides and surface breaks of the 1911, M 8,2 Kemin earthquake, Kyrgyzstan. //Russian geology and geophysics, 2001, vol.42, N10, 1667-1677
22. Ghose S., Mellors R., Korjenkov A., Hamburger M., Pavlis T., Pavlis G., Omuraliev M., Mamyrov E., Muraliev A. The M=7,3 1992 Suusamyr, Kyrgyzstan, Earthquake in the Tien Shan: Aftershock focal mechanisms and surface deformation // BSSA, vol. 87, N1, pp.23-38.

23. Gutenberg B., Richter C.F. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. //BSSA, 1956, v. 46, pp. 105-45.
24. Раутиан Т.Г. Проблема определения энергии землетрясений. Сборник статей Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Москва: 1974, с.107-112
25. Seismic Hazard and Building Vulnerability in Post-Soviet Central Asian Republics/ NatoASI Series, 1999, vol 52.Z
26. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э. Атлас пиковых ускорений землетрясений и законы затухания пиковых ускорений сейсмогенных зон в пределах Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии. Бишкек. 2009, -164 с.
27. Grunthel, G., Musson, R., Schwarz, J., and Stucchi, M., 1998, European Macroseismic Scale (EMS-98): Luxembourg, Conseil de l'Europe, v. 7.
28. Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., and Kanamori, H. Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified Mercalli Intensity in California: Earthquake Spectra, 1999, v. 15, no. 3, p. 557-564.
29. Fukushima Y., Tanaka T. A new attenuation relation for peak horizontal accelerations of strong earthquake ground motions in Japan. //BSSA, 1990, v. 80, N4, pp. 757-783.
30. Peng K.Z., Wu F.T. Song L. Attenuation characteristics of peak horizontal acceleration in Northeast end Southwest China. EESD, 1985, 13, 337-350.
31. Huo J., Hu Y. Study on attenuation laws of ground motion parameters. //Earth. Eng. Eng. Vibration, 1992, 12, 1-11.
32. Zhang P., Yang Z., Gupta H.K., Bhatia S.C. and Shedlock K.M. Global seismic hazard assessment program (GSHAP) in continental Asia. //Annali di Geofizica, 1999, v. 42, N6. pp. 1167-1190.
33. Джанузаков К.Д., Ильясов Б.И., Кнауф В.И., Королев В.Г., Христов Е.В., Чедия О.К. Сейсмическое районирование территории Киргизии. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980, с.183-194.
34. Кондорская Р.В., Горбунова И.И., Ландырева Н.С. Магнитуды m_{rc} и M_{LN} по данным ЕССН (СССР), НОС (США) и МСЦ (Эдинбург). Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. М: МСССС, 1974, с. 135-153.
35. Рутиан Т.Г. Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений. - Тр. ТИССС АН Тадж. ССР, Душанбе, 1960.№7, с.41-96.