

УДК 550.343.9

Турдукулов А.Т., Камчыбеков М.П.,
Егембердиева К.А., Камчыбеков Ы.П.
*Институт сейсмологии НАН КР,
г.Бишкек, Кыргызстан*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОВЕДЁННЫХ РАБОТ В КЫРГЫЗСТАНЕ

Аннотация: В данной статье приведен обзор методик по сейсмическому микрорайонированию территории городов, гидротехнических сооружений, планировавшихся промплощадок территории Кыргызстана, использованных в разное время.

Ключевые слова: сейсмическое микрорайонирование, приращение балльности, сейсмичность, грунтовые условия.

КЫРГЫЗСТАНДА ЖҮРГҮЗҮЛГӨН ИШТЕРДИН ҮЛГҮСҮНДӨ СЕЙСМИКАЛЫК МИКРОРАЙОНДОШТУРУУНУН ТЕОРЕТИКАЛЫК НЕГИЗДЕРИ

Кыскача мазмуну: Бул макалада ар түрдүү убакыттарда колдонулган Кыргызстандын аймагындагы шаарлардын, гидротехникалык курулуштардын, пландаштырылып жаткан өнөр-жай аянттарын сейсмикалык микро райондоштуруу боюнча методикаларынын баяндамасы берилген.

Негизги сөздөр: сейсмикалык микрорайондоштуруу, баллдуулугунун өстүрүлүшү, сейсмикалуулук, топурак шарттары.

THE THEORETICAL BASE OF SEISMIC MICROZONING ON THE EXAMPLE OF ACTIVITY CONDUCTED IN THE KYRGYZSTAN

Abstract: This article provides an overview of techniques for seismic zoning of the city, the hydro-technical construction and the industrial sites planned, conducted at different times in the territory of Kyrgyzstan.

Keywords: seismic microzoning, seismic intensity increment, seismicity, soil conditions.

Сейсмическое районирование подразумевает деление территории, подверженной землетрясениям, на районы с различной сейсмической опасностью и, следовательно, с различными требованиями к антисейсмическим мероприятиям для проектируемых инженерных сооружений.

Впервые для практических целей антисейсмического строительства сейсмическое районирование территории СССР было выполнено в Сейсмологическом институте АН СССР в 1937 г., и официально принятые схемы районирования вошли в Правила строительства в сейсмических районах РСФСР. По мере развития сейсмических исследований, обусловленных стремительным ростом капитального строительства в сейсмических районах, совершенствовалось сейсмическое районирование.

Вопрос о влиянии состава горных пород на интенсивность сейсмических воздействий затрагивается во многих работах. Его касается И.В. Мушкетов при обследовании

Верненского землетрясения 1887 г., им интересуется В.Вебер в связи с Шемахинским землетрясением 1902 г. О влиянии грунтовых условий на балльность землетрясения отмечено в работах Г.П.Горшкова, Д.И.Мушкетова, В.О. Цшохера, И.А.Гзелишвили, А.К.Сафаряна, Е.И.Бюса, и др.[1,3,4,5,6,8,10,12,18].

Сейсмическое микрорайонирование как самостоятельный раздел сейсмостойкого строительства возник в середине двадцатого века. К тому времени было предложено пять способов сейсмического микрорайонирования, принадлежавших различным авторам: В.О. Цшохеру, С.В.Медведеву, И.А. Гзелишвили и А.Н.Сафаряну. Все эти способы связывают различия в силе сейсмических воздействий на сооружения с различными грунтовыми и гидрогеологическими условиями и рельефом местности [3,10,18,20].

С.В. Медведев, обобщив основные положения предложенных методов и собственные выводы, сформулировал выражение для определения приращения балльности на данном грунте[10]:

$$n = 1,67 \log \left[\frac{v_0 \rho_0}{v_n \rho_n} \right] + \alpha e^{-0,04h^2}$$

где v_0 и v_n - скорости сейсмических волн в подстилающих и покровных породах;

ρ_0 и ρ_n - плотности этих грунтов;

h - глубина стояния грунтовых вод;

α - постоянный коэффициент, равны 1 0,5 для гравия и 1,0 - для супеси, суглинков и песков.

Из анализа и простого сопоставления этих способов выявлены следующие их недостатки:

- а) отсутствие теоретического обоснования на основе законов физики земли и теории колебаний;
- б) отсутствие подтверждения их инструментальными наблюдениями;
- в) неподтвержденность результатов микрорайонирования по этим способам в происшествии сильных и ощутимых землетрясений;
- г) несогласованность этих способов между собой;

В.А Нечаев [12] предлагает новый к тому моменту, отличный от предыдущих методов, способ решения задач сейсмического микрорайонирования. Он включает следующие пункты:

- а) обоснование основных положений и формул на основе законов физики;
- б) обобщение сведений о сейсмических явлениях в масштабе не отдельных районов, а всего земного шара;
- в) использование данных геологии не отдельных небольших районов, а крупных геологических единиц; при микрорайонировании используются не только данные о грунтах, но и всей микрогеологии на глубину до нескольких сот метров;
- г) привлечение инструментальных способов, в частности инструментального критерия наивысшей балльности в виде глубин очагов и инструментального выявления сейсмических коэффициентов.

По методу В.А. Нечаева[12] приращение балльности в данных микрогеологических условиях является величиной переменной и зависит от сочетания динамических свойств землетрясения (далекое, близкое, короткопериодное, длиннопериодное), динамических свойств геологической среды (собственный период, затухание и др.), и динамических свойств здания (массы, протяженности, периода и затухания собственных колебаний).

В свое время по данному методу было проведено повторное микрорайонирование г.Ленинабада (Таджикистан), после применения способов микрорайонирования города по В.О. Цшохеру [20] и С.В. Медведеву [10] и не подтвердившиеся позже 7 балльным Сталинабадским землетрясением 27 февраля 1952г.

Вопросы микрорайонирования территорий городов, строительных площадок ответственных сооружений освещены в работах многих исследователей.

В работе Ф.Н.Юдахина, Ж.А. Токмулина [21] для сейсмического микрорайонирования городов Киргизии применен корреляционный метод преломленных волн, с помощью которого изучено строение и скоростная характеристика верхнего маломощного слоя суглинков и галечников.

По влиянию инженерно-геологических условий местности на интенсивность сейсмических воздействий для целей сейсмического микрорайонирования посвящена работа А.Т. Турдукулова, З.Репиной и др. [19]. По результатам исследований этих авторов следует, что при выборе площадок строительства необходимо учитывать, прежде всего, глубину залегания уровня подземных вод. И здесь следует обратить внимание так же на суглинистые и супесчаные грунты с УГВ менее 3-5м, которые обладают наибольшей сейсмической опасностью. Для территории распространения лессовых грунтов карту сейсмического микрорайонирования следует составлять с прогнозной оценкой, учитывающей изменения инженерно-геологической обстановки в результате застройки и последующих техногенных воздействий. В этой же работе проведены исследования о влиянии разрывных структур на характер проявления землетрясений на дневной поверхности.

Для сейсмостойкости сооружений наибольшее значение во время землетрясения имеет поведение основного грунтового (подстилающего) слоя. Спектры реакций сейсмического движения, наблюдаемого на поверхности, можно рассматривать как результат сейсмического движения основной породы, объясняя их механизмом источника землетрясения, распространением волн, грунтовыми характеристиками, от которых зависит распространение волн.

Местные грунтовые условия влияют на показания, фиксирующие максимальные ускорения и скорости, даже если станции расположены на твердой скале. Для оценки этого влияния накапливались данные наблюдений. Вместе с тем, распространение волн в поверхностных слоях грунта изучалось численным анализом, основанном на использовании теории распространения волн и динамических характеристик грунта.

С точки зрения сейсмического микрорайонирования необходимо знать характеристики изменения частот сейсмического движения коренной породы, так как проблема сейсмического микрорайонирования тесно связана с проблемой частотных характеристик грунта.

Вопросы определения сейсмической интенсивности, прогнозирования землетрясений, обеспечения максимального сейсмического риска тесно связаны с созданием карт микрорайонирования. Развитие методов сейсмического микрорайонирования вызвано тем, что в результате наблюдения выявлены значительные изменения интенсивности сильных сейсмических движений на относительно коротких расстояниях. Кроме того, для сейсмостойкого строительства необходимо располагать сейсмотектоническими данными района.

Микрорайонирование направлено на решение проблем оценки ожидаемых разностей в амплитудах сотрясения, так как именно эти разности более всего влияют на степень разрушения сооружений.

Большинство методов микрорайонирования основано на следующих предположениях:

- 1) источник землетрясения вызывает в широком прослое спектр с относительно одинаковыми амплитудами;
- 2) траектория передающихся волн вызывает малые или неэффективные в дальнейшем модификации спектра источника;
- 3) функция преобразования, представляющая влияние местных грунтовых и геологических условий на сейсмологические данные не зависит от горизонтальных и вертикальных углов, обуславливающих направление преобладающей приходящей из очага энергии.

Волны, исходящие при землетрясении, имеют тенденцию распространяться от разлома и приближаться к станции с одной стороны. Волны микротолчков частот возникают из разнообразных устойчивых или временных источников, расположенных во всех направлениях от записывающей станции, первоначально они возникают вблизи грунтовой поверхности. Это наводит на мысль, что если местные грунтовые и геологические слои чувствительны к направлению приближения волн, то районирование на основе одного или нескольких землетрясений или на основе микротолчков не может соответствовать действительности.

Значимость микротолчков в развитии методов создания карт микрорайонирования считается спорной. Хотя многие исследователи подчеркивают полезность записи микротолчков для лучшего понимания геологии и грунтовых условий, сама природа источников их энергии, близко расположенных к поверхности, позволяет характеризовать в основном неглубокие слои.

Сильные же сотрясения, даже являясь результатом землетрясений с неглубоким очагом, вызваны обычно разломом и могут распространяться на большие расстояния в земной коре. Как результат этого явления сейсмические волны зависят, в свою очередь, от свойств грунтов и твердых пород на значительной глубине. Таким образом, микротолчки, которые не отражают влияния изменений в механизме источника возмущения, не могут помочь моделированию сложных геологических разрезов, оказывающих влияние на поверхностные движения и разрушения [13].

Объективную оценку сейсмичности отдельных участков можно получить только в результате комплексного применения различных методов исследования. При этом наиболее эффективные результаты получают при соблюдении определенной последовательности в применении тех или иных методов. Как правило, сейсмическое микрорайонирование начинается с уточнения исходной балльности изучаемой территории. Основным методом исследования на этом этапе – обобщение результатов прошедших землетрясений. В последнее время применяется вероятностная оценка сейсмической опасности территории городов, планируемых площадок под промышленные объекты и гидротехнические сооружения. Результатом данной методики является набор кривых опасностей по множеству географических координат. Каждая кривая опасности представляет годовую частоту превышения некоторого параметра колебания грунта, как функция данного параметра. Кривые опасности, как правило, представлены в виде максимальных значений ускорений колебаний грунта и спектральных компонент с периодами 0,2, 0,3 и 1,0 секунда. Для некоторого уровня вероятности 2% или 10% за 50 лет, кривые опасности могут быть применены для оценки уровня колебаний грунта соответствующего превышения. Такая работа была проведена для территории г.Бишкек [7,23].

Обследование городов, населенных пунктов и специально поставленных инструментальных наблюдений показало, что на скальных породах типа известняков максимальные землетрясения были в пределах 7 баллов. Это положение следует принимать за отправной пункт при дифференциации сейсмичности отдельных участков в зависимости от инженерно-геологических условий [2].

Изучение инженерно-геологических условий является следующим этапом работ по сейсмическому микрорайонированию. Из многообразия видов инженерно-геологических наблюдений и показателей грунтов необходимо выделить, проанализировать и обобщить только те, которые помогут в определении объективных количественных оценок сейсмической опасности.

С работами С.В.Медведева [9] в 50-е годы прошлого века начались исследования сейсмических свойств грунтов в Кыргызстане. На основе записей неощутимых, но достаточно сильных землетрясений проводились работы в выбранных точках городов, планируемых площадок под промышленные объекты и гидротехнические сооружения.

Записи одного и того же землетрясения сравнивались на разных станциях. В результате этих работ получены оценки спектральных характеристик грунтовых толщ относительно эталонного грунта для различных грунтов. В работах, в основном, использовались данные по поперечным S-волнам. Изучение эффектов грунта на территории Кыргызстана до сих пор проводилось только по слабым землетрясениям. Так как отсутствуют записи сильных колебаний грунта, эффект нелинейности в данном случае в условиях Кыргызстана еще не изучен.

Для г.Бишкек, как столицы республики, в разное время и различными методами проводились и продолжают работы по сейсмическому микрорайонированию. Территория города Бишкек относится к 8 и 9 балльной сейсмоопасной зоне по шкале сейсмической интенсивности MSK-64 [11]. Впервые схема сейсмического микрорайонирования территории города Бишкек была составлена С.В. Медведевым в 1951г [9]. Уточнение сейсмичности участков, предназначенных под строительство, возможно, проводить по РСМ-75 [14] и РСМ-85 [15] и согласно таблицы 1 СНиП II 7-81* [16], а в настоящее время - таблицы 5.1 СНиП КР 20-02:2009 [17].

Расчет приращения балльности на основе слабых землетрясений производится с помощью формулы [9]:

$$\Delta I = 3,31 \lg A_1 / A_0$$

где A_1 и A_0 – амплитуды колебаний исследуемых и эталонных грунтов.

Согласно этой схеме на территории г.Бишкек было выделено два микрорайона с сейсмичностью 8 и 9 баллов. Позже в 1963г была составлена другая схема сейсмического микрорайонирования. На этой схеме территория г.Бишкек разделена на три зоны, т.е. 8, 9 баллов и 9 баллов с неблагоприятными условиями для строительства [9]. Используя сейсмологические инженерно-геологические, сейсморазведочные данные, начиная с 1967 по 1971гг., составлена очередная карта сейсмического микрорайонирования территории города, на которой выделены три зоны с различной балльностью – 8,9 и 10 баллов и, где половина города переведена из девяти в восьмibalльную зону [6].

В связи с расширением территории города была составлена карта комплексного сейсмического микрорайонирования территории города в 1989 г. [8]. В этой работе выделены четыре зоны: 8,9, и более 9 балльные зоны сейсмической интенсивности, а также зона влияния разлома; в данном случае зона динамического влияния Исыккатынского разлома, являющегося активной тектонической дизъюнктивной структурой, непосредственно влияющей на сейсмические свойства грунтов, слагающих зону разлома. Впервые в практике строительства, несмотря на исторически сложившееся обстоятельство – расположение населенных пунктов в этой зоне, принята рекомендация по запрещению строительства зданий и сооружений на этой территории. Зона динамического влияния Исыккатынского разлома 1,5 км по обе стороны вдоль продольной оси разлома, в пределах которой в грунтах возможны проявления остаточных деформаций.

Parolay S. и его группой [26] проведены работы по определению фундаментальных резонансных частот от источников шума, измеренного вокруг г.Бишкек, на основе метода Накамуры [25] и построена карта для следующих диапазонов частот: 0,10-0,12; 0,12-0,14; 0,14-0,16; 0,16-0,18; 0,18-0,20; 0,20-0,22; 0,22-0,24; 0,24-0,26; 0,26-0,28; 0,28-0,30; 0,30-0,5; 0,5-0,7; 0,70-0,90; 0,90-1,10; 1,10-6,00. Этот метод основан на определении отношения горизонтальных и вертикальных компонент амплитудного спектра Фурье смещений грунта и позволяет исследовать лишь приповерхностный слой земной коры.

В работе [22] при оценке сейсмичности предлагается учитывать влияние грунтовых условий. Сейсмическая интенсивность рассчитывается с использованием метода Соколова и Чернова [27] на основе амплитудного спектра Фурье и применением EMS-98 [24]. Из анализа записей слабых землетрясений в 18 пунктах наблюдения по г.Бишкек выявлено, что в

северной части города амплитуды записи колебаний землетрясений оказались больше, чем в южной части. Это еще раз подтверждает ранее полученные аналогичные результаты по комплексной карте сейсомикрорайонирования территории г.Бишкек [8].

Таким образом, вышеприведенный анализ работ по сейсмическому микрорайонированию в Кыргызстане показывает, что исследования в этом направлении продолжаются, причем с широким использованием инженерно-сейсмологических данных. Авторы считают, что для существенного улучшения дальнейших работ по сейсмическому микрорайонированию необходимо развивать исследования по сильным движениям.

Литература

1. Бюс Е.И., Цхацкая А.Д. Сейсмологические основы сейсморайонирования Кавказа. //Бюлл. Совета по сейсм. АН СССР, №8,1960.
2. Ваханова А.Н. Методические указания к производству инженерно-геологических исследований для сейсмического микрорайонирования. // Инженерно-геологическая основа сейсмического микрорайонирования. – Ташкент: Фан, 1977. С.245-271.
3. Гзелишвили И.А. Сейсмическое микрорайонирование г.Тбилисию // Сообщения АН Груз. ССР, т. VII, №4, 1946.
4. Горшков Г.П. Вопросы сеймотектоники и сейсмическое районирование территории Китайской Народной Республики. //Бюлл.Совета по сейсм. АН СССР, №7, 1960.
5. Гусев А.А., Гусева Е.М.История и состояние исследований по инженерной сейсмологии на Камчатке. // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. - С.81-95.
6. Дуйшеналиев Ш., Репина З.Ф., Блинов Г.И., Копобаев М., Арамбицкий Г.М. Сейсмическое микрорайонирование на территории Киргизии.// Сейсмическое микрорайонирование: сб.науч. тр. – Алма-Ата: Наука, 1976. - С. 13-17.
7. Камчыбеков М.П. Количественная оценка сейсмического риска территории и жилых зданий г.Бишкек: автореф. дис. канд.техн.наук. – Бишкек, 2006. 22с.
8. Комплексное сейсмическое микрорайонирование территории г.Бишкек. (Турдукулов А.Т. и др.). 1989, 360с. //Фонды ИС НАН КР.
9. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. –М.: Госстройиздат, 1962. -283с.
10. Медведев С.В. Оценка сейсмической балльности в зависимости от грунтовых условий. //Труды Геофизического института АН СССР,14 (141) М., 1952.
11. Медведев.С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. // Сейсмическое районирование СССР:под.ред. С.В.Медведева. - М.: Наука, 1968. - С.158-162.
12. Нечаев В.А Сейсмическое микрорайонирование территории г. Сталинабада на основе инструментально-геологического метода./В кн.: Материалы Сталинабадского совещания по инженерной сейсмологии и сейсмостойкому строительству. – АН Тадж. ССР, 1959. -120с
13. Рашидов Т.Р., Рассказовский В.Т. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. –Ташкент: Фан, 1986. -296с.
14. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию. РСМ-73. ИФЗ АН СССР, – Москва, 1974.
15. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. РСМ-85.– Москва, 1985. 73с.
16. СНиП II-81* Строительство в сейсмических районах. / Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1991. 50с.
17. СНиП КР 20-02:2009 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. – Бишкек, 2009.-103с.

18. Сафарян А.Н. О методике сейсмического районирования и микрорайонирования // Труды ин-та строит.дела АН Груз. ССР, вып. VI, 1957.
19. Турдукулов А.Т., Репина З. Ф. Ж.А. Токмулин, М. Иксанов Влияние инженерно-геологических условий и сеймотектонических структур на характер проявления землетрясений. –Фрунзе: Илим, 1968. - 84с.
20. Цшохер В.О. Сейсмика в проблемах планировки городов // Труды физико-тех. ин-та Туркменского филиала АН СССР, Ашхабад, 1949.
21. Юдахин Ф.Н., Токмулин Ж.А. Применение численно-аналитического метода при сейсмическом микрорайонировании городов Киргизии.// Изв. АН Кирг.ССР, 1979. - №5.-С.25-31.
22. Bindi D., Mayfield M., Parolay S., Tyagunov S., Begaliev U.T., Abdrakhmatov K., Moldobekov B., Zschau J. Towards an improved seismic risk scenario for Bishkek, Kyrgyz Republic. // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 31 (2011) 521-525.
23. Erdik M., Rashidov T., Safak E., Turdukulov A. Assesment of seismic risk in Tashkent, Uzbekistan and Bishkek, Kyrgyz Republic. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2005; 25:473-86.
24. Grunthal, G. European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 1998; Vol.15, pp.1-99.
25. Nakamura Y.A. Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface // Quarterly Report of RTRI, Railway Technical Research Institute(RTRI), 1989. - Vol. 30. - No.1.
26. Parolai S., Orunbaev S., Bindi D., Strollo A., Usupaev S., Picozzi M., Giacomo D.Di., Augilera P., Alema E.D., Milkereit C., Moldobekov B. Zschau J. Site effect assessment in Bishkek (Kyrgyzstan) using earthquake and noise recording data. Bulletin of the Seismological Society of America, in press, doi: 10.1785/0120100044.
27. Sokolov V.V. Chernov Y.K. On the correlation of seismic intensity with Fourier amplitude spectra. Earthquake Spectra 1998; 14; 679-94.