

УДК 550.34-551.24

Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А.  
Институт сейсмологии НАН КР,  
г. Бишкек, Кыргызстан

## К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы инженерной сейсмологии. В условиях высокой сейсмической активности территории Кыргызстана регистрация сейсмических событий эффективна и потому может быть признана основным в комплексе сейсмологических методов, применяемых при сейсмическом микрорайонировании. Приведены критические замечания известных российских учёных в области инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. С изменением экономических реалий, развитием науки с учётом зарубежного опыта в области инженерной сейсмологии, изучения сейсмической опасности в странах СНГ, назрел вопрос о необходимости критического пересмотра и приведения в соответствие с новыми данными и новыми подходами нормативных правил по учёту сейсмических воздействий на строительные объекты. В вопросе изучения грунтов значение инженерно-геологических данных и их оценка влияния на параметры сейсмических воздействий менялась с развитием сейсмического микрорайонирования.

**Ключевые слова:** инженерная сейсмология, сейсмическое микрорайонирование, грунтовые условия, землетрясения, сейсмичность.

## ИНЖЕНЕРДИК СЕЙСМОЛОГИЯСЫН ӨНҮКТҮРҮҮ МАСЕЛЕЛЕРИ БОЮНЧА

**Кыскача мазмуну.** Эмгекте инженердик сейсмологиянын маселелери талкууланат. Кыргызстандын аймагындагы жогорку сейсмикалык активдүүлүктүн шарттарында сейсмологиялык эсепке алуу натыйжалуу болуп саналат, ошондуктан сейсмикалык кичирайондоштурууда колдонулуучу сейсмологиялык методдордун комплексинин негизгиси болуп эсептелинет. Инженердик сейсмология жана жер титирөөгө туруктуу курулуш тармагындагы белгилүү орус окумуштууларынын сын пикирлери келтирилген. Экономикалык реалдуулуктун өзгөрүшүнө, инженердик сейсмология жаатындагы чет өлкөлүк тажрыйбаны эске алуу менен илимдин өнүгүшүнө жана КМШ өлкөлөрүндөгү сейсмикалык коркунучтарды изилдөөгө сын көз караш менен карап чыгуу жана бир катарга келтирүү зарылчылыгы, жаңы маалыматтар жана жаңы ыкмалар менен курулуш объекттериндеги сейсмикалык таасирлерди эсепке алуунун ченемдик эрежелери жөнүндө маселе келип чыкты. Жер шарттарын изилдөө маселесинде инженердик геологиялык маалыматтардын мааниси жана алардын сейсмикалык таасирлердин параметрлерине тийгизген таасирин баалоо сейсмикалык микрорайондоштуруунун өнүгүшү менен өзгөрдү.

**Негизги сөздөр:** инженердик сейсмология, сейсмикалык кичирайондоштуруу, кыртыштын абалы, жер титирөө, сейсмикасы.

## TO THE QUESTION OF ENGINEERING SEISMOLOGY DEVELOPMENT

**Abstract.** The paper considers the issues of engineering seismology. In conditions of high seismic activity of the territory of Kyrgyzstan, registration of seismic events is effective and therefore can be recognized as the main one in the complex of seismological methods used in seismic microzoning. Critical comments of famous Russian scientists in the field of engineering seismology and earthquake-resistant construction are given. With the change in economic realities, the development of science taking into account international experience in the field of engineering seismology, the study of seismic hazard in the CIS countries, the issue of the need for a critical

review and bringing into conformity with a new data and new approaches of regulatory rules for accounting of seismic impacts on construction sites has matured. In the issue of studying soils, the importance of engineering and geological data and their assessment of the impact on the parameters of seismic impacts has changed with the development of seismic microzoning.

**Keywords:** engineering seismology, seismic microzoning, soil conditions, earthquakes, seismicity.

Как известно, основной вопрос инженерной сейсмологии - прогноз сейсмических воздействий - включает три направления. В первом случае определяется сейсмическая опасность отдельных районов страны, создаётся и уточняется карта сейсмического районирования страны. Во-вторых, оценивается влияние различных грунтовых условий на интенсивность сейсмических колебаний на поверхности земли для внесения соответствующих поправок, т. е. проводятся работы по сейсмическому микрорайонированию. И наконец, устанавливаются количественные данные о колебаниях грунтов – величины смещений, ускорений, периодов, энергии, т.е. создаётся и усовершенствуется шкала для определения силы землетрясения, выраженной в баллах [12].

Сейсмическое микрорайонирование (СМР), как самостоятельный раздел сейсмостойкого строительства, появилось в середине двадцатого века. Свою лепту в развитие способов сейсмического микрорайонирования в своё время внесли В.О. Цшохер [18], С. В. Медведев [12] и А.Н. Сафарян [17]. Различие всех этих способов состоит в силе сейсмических воздействий на сооружения с различными грунтовыми и гидрогеологическими условиями и рельефом местности. На основании данных способов, а также собственных выводов, С. В. Медведев сформулировал формулу для вычисления приращения балльности на данном грунте [12]. Работами С. В. Медведева в 50-е годы прошлого века начались исследования сейсмических свойств грунтов в Кыргызстане. Работы по микрорайонированию заключаются в следующем. В выбранных точках города проводились работы по записи слабых землетрясений на планируемых площадках под строительные объекты: жилые здания, промышленные объекты и т. д. Сравнивались записи одного и того же землетрясения, полученные на разных станциях. Далее производилось сравнение относительно эталонного грунта.

Согласно требованиям нормативного документа [13, 14] сейсмологические инструментальные исследования при СМР проводятся в следующих целях: 1) получение данных о сейсмичности изучаемой территории и 2) изучение сейсмических свойств грунтов. Для достижения этих целей рекомендуется использовать методы регистрации землетрясений, взрывов и микросейсм. Все эти методы инструментальных исследований в настоящее время соответствуют поставленным целям. Регистрация сейсмических событий в условиях высокой сейсмической активности территории Кыргызстана эффективна и потому может быть признана основным в комплексе сейсмологических методов, применяемых при сейсмическом микрорайонировании.

Для решения задач сейсмического микрорайонирования в последнее время довольно часто стал применяться метод расчёта отношений амплитуд спектров Фурье горизонтальных и вертикальных компонент - метод  $H/V$ , как для изучения резонансных характеристик грунтовой толщи, залегающей на скальном основании, так и для оценки относительного усиления колебаний за счёт изменения грунтовых условий [19]. По сравнению с методом регистрации микросейсм, метод  $H/V$  не предполагает учёт различия в характеристиках измерительных приборов. Для оценки приращения сейсмической интенсивности полученные результаты будут адекватными при выполнении следующих положений, которые лежат в основе данного метода: 1 – амплитуды горизонтальных и вертикальных компонент на скальных грунтах практически одинаковы, т.е. их соотношение примерно равно 1; 2 – для вертикальной составляющей усиления колебаний происходит, в основном, за счёт поверхностных волн Релея, а в случае отсутствия поверхностных волн

отношение вертикальных компонент для эталонных и локальных грунтов также примерно равно единице [8]. С помощью резонансных и скоростных характеристик грунтов можно уточнить структурные особенности геологического разреза.

Как показывает практика, мера интенсивности в баллах, оказывается, не точно отражает нагрузки на сооружения. В научной сфере в последнее время появились споры о необходимости или отказе в использовании макросейсмических параметров [2]. Хотя, известный учёный Гусев А. А. в своей работе [5], считает разумным сохранение применения балльности для сейсмического районирования, объясняя это тем, что интенсивность в баллах имеет интегральный характер, и отражает усреднённые характеристики колебаний как во времени, в пределах значительных колебаний, так и по отдельной территории земной поверхности. А ускорение — это точечная оценка и по времени, и по пространству, и имеет большой внутренний разброс. И эти преимущества параметра  $I$ , как он считает, перевешивают его недостатки.

Тем не менее, сейсмостойкое строительство, за рубежом уже давно, а у нас на современном этапе, требует перехода на инструментальные характеристики сейсмических воздействий, такие как пиковые ускорения, частотный состав, длительность колебаний, спектр реакции, коэффициент динамичности [2].

С изменением экономических реалий, развитием науки, с учётом зарубежного опыта в области инженерной сейсмологии, изучения проблемы сейсмической опасности в странах СНГ, назрел вопрос о необходимости критического пересмотра и приведения в соответствие с новыми данными и новыми подходами нормативных правил по учёту сейсмических воздействий на строительные объекты. И в этом направлении есть несколько работ, выделяющих недостатки и способы их решения. Так в работе Алешина А. С. [2] отмечено, что в последнее время в России в области сейсмостойкого строительства появилось много разных документов, что можно охарактеризовать как своего рода «нормативный хаос» [6]. Причиной тому, как считают эксперты, стали различия в основных понятиях и соотношениях новых и старых нормативных документов. В работе [2] приводится замечание по понятию «эталонный грунт», в качестве которого до сих пор выбираются средние грунты, свойства которых меняются в довольно большом интервале. Указывается, что в зарубежных нормах в качестве эталонного выбирается жёсткий грунт, поскольку в этом случае можно избежать влияния сильных сейсмических воздействий на параметры грунта. В работе отмечается также, что при использовании новой шкалы сейсмической интенсивности, все формулы инженерной сейсмологии, такие как формулы макросейсмического поля, коэффициента сейсмичности  $A$ , расчёта приращений сейсмической интенсивности по сейсмологическим данным, формулы метода сейсмической жёсткости и др., должны также измениться [2]. Автор обращает внимание на скачкообразное изменение приращений интенсивностей на границах категорий грунтов, которое, как следствие, приводит к соответствующим ошибкам. Здесь, как и в работе [3], указывается на недостаток формулы Медведева С. В., где для определения приращения сейсмической интенсивности по методу сейсмической жёсткости принимается предположение о равенстве потоков мощности на соседних участках с различными свойствами верхнего слоя грунтов, что автор на основании результатов своей другой работы [3] считает принципиально неверным.

Ещё одной проблемой в микрорайонировании при оценке сейсмичности строительной площадки является выбор эталонного грунта, который при сейсмическом районировании фактически не выбирался, и последующее определение сейсмичности строительной площадки относительно этого грунта без соответствующих аргументированных объяснений [11].

Формула С. В. Медведева [12] для сейсмического микрорайонирования существует до сих пор в нормативных технических документах стран СНГ. В российском документе СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» имеется формула для

определения приращения интенсивности  $\Delta I$  в баллах на основе метода сейсмических жёсткостей. В работе [11] отмечается, что она является единичным случаем формулы Медведева. Применять её во всех случаях некорректно. Там же указывается на неясность получения коэффициента между разностями логарифмов без его физического обоснования. При расчёте по формуле Медведева говорить об увеличении амплитуды преломлённой волны в два раза при изменении одного грунта на другой без учёта резонансных явлений авторы считают «не соответствующим физическим законам». В работе также считается ошибочным определение параметров эталонного грунта со средней сейсмической жёсткостью  $655 \text{ г/см}^3 \cdot \text{м/с}$  с помощью формулы Медведева С. В., которая является некорректной в этом диапазоне акустических жёсткостей.

С переходом с аналоговой на цифровую форму регистрации сейсмических событий увеличилась возможность расчёта спектров приращений сейсмической балльности, расположенных на различных пунктах наблюдения, в различных инженерно-геологических условиях. Приращения балльности оцениваются в рекомендованных инженерно-сейсмологических диапазонах частот колебаний. В РСН 65–87 [15] в инженерно-сейсмологических исследованиях для СМР предложены частотные интервалы для площадок гражданского строительства: 0.5–10.0 Гц; 0.5–2.0 Гц; 2.0–3.3 Гц; 3.3–10.0 Гц. В российской практике СМР участков плотин, береговых примыканий и площадок других гидротехнических сооружений используются диапазоны периодов и частот [4,16]: 0.5–10.0 Гц; 0.5–2.0 Гц; 2.0–4.0 Гц; 4.0–10.0 Гц.

В рамках критического пересмотра и приведения в соответствие с сегодняшним состоянием инженерной науки, в работе [2] сделан акцент на изменившуюся роль и значение инженерной геологии как основной составляющей в картировании сейсмической опасности. Отмечено, что в вопросе изучения грунтов значение инженерно-геологических данных и их оценка влияния на параметры сейсмических воздействий менялась с развитием сейсмического микрорайонирования. В соответствии с нормативом [15] инженерно-геологические работы в составе работ по сейсмическому микрорайонированию служат инженерно-геологической основой карты сейсмического микрорайонирования, а также для геофизических исследований. В настоящее время в сейсмическом микрорайонировании значение инженерной геологии становится ещё более значимой. Если в прошлом, в советское время, районировались территории городов и посёлков, то сегодня объекты микрорайонирования изменились - они небольшие, с практически однородными инженерно-геологическими условиями. На таких небольших площадях проще проводить бурение скважин для определения физико-механических свойств грунтов [2].

Приведём примеры влияния грунтовых условий на примере воздействия сильных землетрясений на населённые пункты, оказавшиеся вблизи эпицентральных зон землетрясений. Геологическое строение эпицентральной зоны каждого землетрясения различно, и одно землетрясение, в этом плане, не похоже на другое. Очаги землетрясений располагаются на разных эпицентральных расстояниях относительно рассматриваемого населённого пункта и имеют разные глубины гипоцентров. На рисунках 1, 2, 3, 4 и в таблице 1 показаны эпицентры рассматриваемых землетрясений и соответствующие населённые пункты. В данном примере следует обратить внимание на интенсивность, расположение эпицентров землетрясений и инженерно-геологическое строение территории населённых пунктов. Жилая застройка отмеченных населённых пунктов - однотипная, т. е. дома возведены, в основном, из глинобитного материала. Но, следует отметить, что во всех населённых пунктах - Кочкор, Баткен, Нура, Кан - жилые дома строились с учётом местных строительных традиций.

Таблица 1. Название землетрясений и населённых пунктов.

Название землетрясения	Дата, время местное	Населённый пункт	Эпицентральное расстояние, км	Расположение эпицентра	Глубина, км	$K_R$	$M$	$I$ , балл
Исфара-Баткенское	31.01.1977 г. 20 ч 26'14''	с. Баткен	$\approx 5$	Восточно-северная	20	15.5		8
Кочкорское	25.12.2006 г. 20 ч 0'58.3''	с. Кочкор	$\approx 27$	Восточно-южная	13	14.2	5.5	7-8
Нура	5.10.2008 г. 21 ч 52'46.6''	с. Нура	$\approx 18$	Западно-южная		15.3	6.8	8-9
Канское	19.07.2011 г. 01 ч 35'43.9''	с. Кан	$\approx 13$	Восточно-южная	17	14.1	6.5	8-8.5



Рисунок 1. Эпицентр Исфара-Баткенского землетрясения.

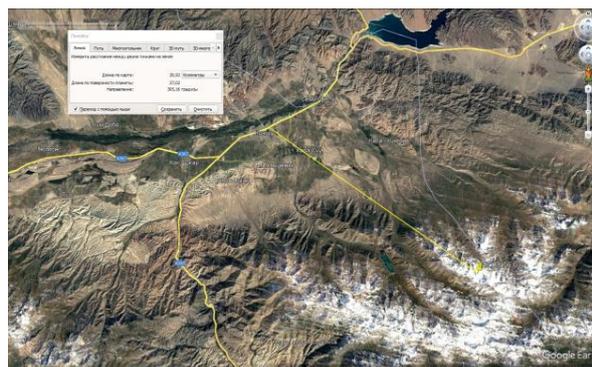


Рисунок 2. Эпицентр Кочкорского землетрясения.



Рисунок 3. Эпицентр землетрясения Нура.



Рисунок 4. Эпицентр Канского землетрясения.

Инженерно-геологические условия для каждого населённого пункта отличаются. На территории г. Баткен и пгт. Кан в основном преобладают валунно-галечники. На территории районного центра Кочкор в северной части, в долине реки Чу уровень грунтовых вод ближе к поверхности земли, но в южной части уровень грунтовых вод

залегает глубже от поверхности земли. Особо следует обратить внимание на грунтовые условия в с. Нура. Здесь с юго-запада на северо-восток протекает река Нура, с юго-восточной стороны на северо-запад с гор спускается горно-родниковая вода и пересекает центр села. На севере села вторая сезонная горно-родниковая вода с гор спускается с юго-востока на северо-запад. Близость уровня грунтовых вод, а также фактор плодородности земли стали причиной появления этого села. На рисунке 5 показана спутниковая карта расположения с. Нура (2005 г.).

При Исфара-Баткенском [7, 9] и Канском [10] землетрясениях больших разрушений, сопровождавшихся человеческими жертвами, не было. При Кочкорском землетрясении разрушился один дом, расположенный непосредственно в районе эпицентра землетрясения, жертв нет, а в самом районном центре Кочкор разрушений жилых строений не было. Наиболее сильные повреждения получили постройки в северной части села. В селе Нура из-за близости грунтовых вод произошло сильное разрушение жилых построек, унёсшее жизни 75 человек [1].

Как видно из таблицы, все названные землетрясения произошли в ночное время по местному времени, а погибшие были только в селе Нура, где выявлены худшие грунтовые условия по сравнению с другими сёлами.



Рисунок 5. Спутниковая карта с. Нура, 2005 г.

Рассмотренный пример показывает, насколько важную роль играют грунтовые условия в задачах сейсмического микрорайонирования проектируемых территорий населённых пунктов и различных строительных площадок при сильных землетрясениях.

### Выводы

С изменением экономических реалий, развитием науки, с учётом зарубежного опыта в изучении сейсмической опасности, в области инженерной сейсмологии назрел вопрос о необходимости критического пересмотра и приведения в соответствие с новыми данными и новыми подходами нормативных правил по учёту сейсмических воздействий на строительные объекты. Сейсмостойкое строительство сегодня требует перехода на инструментальные характеристики сейсмических воздействий, такие как пиковые ускорения, частотный состав и т. д.

Возросла роль инженерной геологии в задачах сейсмического микрорайонирования проектируемых территорий населённых пунктов и различных строительных площадок.

Практика макросейсмического обследования показывает, что при сильных движениях в эпицентральной зоне грунтовые условия имеют ощутимое влияние на последствия сильных сейсмических воздействий на сооружения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Ормуков Ч. Землетрясение Нура // В сборнике: «Землетрясения Северной Евразии», 2008 год. Обнинск, 2014. С. 408–416.
2. Алешин А. С. «Трудные» вопросы развития сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 6. С. 8–13.
3. Алешин А. С. Сейсмическое микрорайонирование особо ответственных объектов. – М.: «Светоч Плюс». 2010. 303 с.
4. Бугаевский А.Г., Кухмазов С.У., Савич А. И. Проблемы, методика и результаты инструментального сейсмического микрорайонирования участков гидротехнического строительства. // Гидротехническое строительство. 2005. № 11. С. 26–33.
5. Гусев А. А. О принципах картирования сейсмоопасных регионов российской федерации и нормирования сейсмических нагрузок в терминах сейсмических ускорений. // Инженерные изыскания. Сентябрь 2011. Стр. 18–35.
6. Горшков Г. А. Нормативный хаос в Российском сейсмическом микрорайонировании// Geoinfo.ru. Дискуссия профессионалов. 28.11.2018.
7. Исфара-Баткенское и Таваксайское землетрясения 1977 года. Коллектив. Ташкент: Фан - 1981. 152 с.
8. Калинина А.В., Аммосов С.М., Татевосян Р. Э., Быкова В. В. Метод H/V в задачах сейсмического микрорайонирования // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2022. – Т. 49, № 4. С. 105–116.
9. Камчыбеков М.П., Егембердиева К. А., Мураталиев Н. М. К вопросу о макросейсмическом обследовании последствий Исфара-Баткенского землетрясения 31 января 1977 г. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. - 2023. - № 2(22). С. 23–28.
10. Камчыбеков М.П., Усманова М. Т., Земцова А. Г., Джураев А., Егембердиева К. А., Нурматов У.А., Камчыбеков Ы.П., Чаримов Т.А. Канское землетрясение 19 июля 2011 г. С КР=14.1, MS=6.2, I0=8–9 (Кыргызстан–Узбекистан) // В сборнике: Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. Обнинск, 2017. С. 379–391.
11. Курбацкий Е.Н., Мазур Г.Э., Мондрус В.Л. Критический анализ состояния нормативной документации по расчёту сооружений на землетрясения. // Строительные науки, 2,2017. С. 95–102.
12. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. - М.: Госстройиздат, 1962. - 283 с.
13. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию. РСМ-73. ИФЗ АН СССР, - Москва, 1974.
14. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. РСМ-85. - Москва, 1985. 73 с.
15. Республиканские строительные нормы «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ». РСН 65–87. Госстрой РСФСР, 1987
16. Речицкий В.И., Ильин М. М., Речицкий В.В., Бугаевский А.Г., Смирнов А. В. Результаты комплексных исследований на участке подземных сооружений Рогунской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2015. № 12. С. 29–40
17. Сафарян А.Н. О методике сейсмического районирования и микрорайонирования // Труды ин-та строит. дела АН Груз. ССР, вып. VI, 1957.
18. Цшохер В.О. Сейсмика в проблемах планировки городов // Труды физико-тех. ин-та Туркменского филиала АН СССР, Ашхабад, 1949.
19. Nakamura Y. A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. – 1989. – V. 30 (1). p. 25–33.

*Рецензент: д. ф-м. н., проф. Муралиев А.М.*