

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

УЛОМОВ В.И.

Главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор геофизики

Ключевые слова: макросейсмический режим, сейсмическое районирование, сейсмическая опасность, сейсмические воздействия, строительные нормы.

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы актуализации баз данных и комплекта карт общего сейсмического районирования территории России — ОСР-97. Обсуждается создание новых карт — ОСР-2012. Даются рекомендации по актуализации строительных норм. Сообщается о планах создания единой информационной системы «Сейсмобезопасность России», которая предполагает интерактивное функционирование специализированных порталов, одним из которых будет портал «Сейсмичность и сейсмоопасность».

Key words: macroseismic regime, seismic zoning, seismic hazard, seismic loads, building code.

Abstract: the article deals with updating databases and the general seismic zoning maps of the Russian territory — GSZ-97. Developing of the new maps GSZ-2012 is considered. Recommendations on updating the building codes are made. The article reports on the plans of developing the integrated information system «Seismic safety of Russia» that involves operating of the specialized interactive portals. One of them will be the portal «Seismicity and Seismic Hazard».

В соответствии с Федеральной целевой программой (ФЦП) «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2013 годы», утвержденной постановлением Правительства РФ от 23.04.2009 г., активизируются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по целому ряду проблем, в том числе по актуализации нормативных документов — СНИП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» и действующих карт общего сейсмического районирования территории страны — ОСР-97.

В целях рассмотрения проектов нормативных правовых актов в области сейсмостойкого строительства и выработки предложений и рекомендаций по решению вопросов обеспечения сейсмобезопасности зданий и сооружений 15 августа 2009 года при Министерстве регионального развития Российской Федерации была создана Экспертная комиссия по сейсмостойкому строительству.

В сейсмологическом отношении планируется обновление и пополнение электронной базы данных и актуализация карт ОСР-97, а также осуществление более детального регионального сейсмического районирования (ДСР) Дальневосточного, Сибирского и Южного федеральных округов. Эта работа будет выполняться в рамках одной из основных тем ФЦП: «Создание и обес-

печение функционирования единой информационной системы «Сейсмобезопасность России», включающей региональные и тематические разделы, в которых уточняются исходная сейсмичность и сейсмический риск».

Единая информационная система «Сейсмобезопасность России» предполагает автономное функционирование специализированных порталов, одним из которых будет портал «Сейсмичность и сейсмическая опасность» (ССО), базирующийся на актуализации электронной базы данных карт ОСР-97 и на совершенствовании методов для создания нормативных карт сейсмического районирования следующего поколения — ОСР-2012. Информация для наполнения базы данных портала ССО и новые методические и экспериментальные разработки будут поступать от организаций и специалистов, участвующих в выполнении исследований по изучению региональной сейсмичности, сейсмогеодинамики, по сейсмическому районированию и прогнозу сейсмической опасности в сейсмоактивных регионах Российской Федерации.

Взаимодействие между отдельными порталами системы будет осуществляться на основе специально разработанных для этих целей инструкций и регламентов. Созданная автоматизированная информационная система должна представлять собой набор программных модулей, обеспечивающих

формирование ГИС и web-интерфейса пользователя.

Макросейсмический режим — основа сейсморайонирования

Планируется, что одним из новшеств в актуализации сейсмического районирования будет сейсмическое зонирование территорий в представлении сейсмической интенсивности не только в целочисленной (как в ОСР-97), но и в полубалльной и в более дробной градации, необходимой для детального сейсмического районирования (ДСР) регионов и для сейсмического микро-районирования (СМР) городов, населенных пунктов и строительных площадок. Предусматривается также представление прогнозируемых сейсмических воздействий в пиковых ускорениях и других количественных показателях сейсмического эффекта.

Как известно, основой вероятностного сейсмического районирования (например, ОСР-97) является изучение сейсмического режима того или иного сейсмоактивного региона, характеризующегося частотой возникновения во времени и в пространстве очагов землетрясений разных магнитуд. Параметры сейсмического режима, в свою очередь, обусловлены особенностями глубинной разломно-блоковой структуры земной коры и всей литосферы региона и развитием глобальных сейсмогеодинамических процессов.

В отличие от сейсмического режима, генерируемого глубинными процессами, макросейсмический режим — это частота возникновения на земной поверхности сейсмических сотрясений разной интенсивности, создаваемых всеми очагами землетрясений региона и измеряемых в баллах макросейсмической шкалы или в иных количественных характеристиках (ускорения, скорости, смещения, длительности колебаний и др.). В нашей стране пока официально действует шкала MSK-64, созданная в 1964 году под руководством С.В. Медведева.

Макросейсмический режим отражается на картах повторяемости сейсмиче-

ских сотрясений разной интенсивности (картах «сотрясаемости», по Ю.В. Ризниченко). И хотя составление таких карт было впервые предложено еще в середине прошлого века сейсмологами Института физики Земли АН СССР С.В. Медведевым и Ю.В. Ризниченко, они, к сожалению, никогда не включались в нормативные документы и в строительной практике не использовались.

Впервые макросейсмический режим стал строго учитываться лишь при выполнении в Институте физики Земли исследований по созданию комплекта вероятностных карт общего сейсмического районирования территории Северной Евразии — ОСР-97 [1, 7, 8]. Но и на этот раз карты повторяемости сейсмического эффекта официально не вошли в СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах», хотя и были при компьютерном моделировании сейсмогеодинамических процессов основным звеном всех математических расчетов для ОСР-97. В мелком масштабе карты периодов повторяемости сейсмического эффекта в 7, 8 и 9 баллов были приведены лишь для иллюстрации в настенном варианте карты сейсмического районирования территории Российской Федерации, опубликованной в 2000 году.

Очередным шагом в построении карт повторяемости сейсмического эффекта разной интенсивности и в разработке их практического использования стало участие Института физики Земли в 2005–2008 годах в одном из проектов программы президиума РАН «Электронная Земля». Целью того проекта, имевшего кодовое название «GEOSINET–0304-04» и возглавлявшегося автором этих строк, являлась разработка на основе ГИС-технологий электронной базы данных и создание в континуальной форме комплекта таких карт для обширной территории Северной Евразии. Эти карты для периодов повторяемости 6, 7, 8- и 9-балльных сотрясений приведены на рис. 1. Они выполнены в форме непрерывной поверхности, подобной земному рельефу, а не в виде сетки из фиксированных точек, как это делалось прежде в расчетах ОСР-97.

Ниже будет показано, что карты макросейсмического режима не менее важны для строительной отрасли, чем сами карты ОСР-97. Их дальнейшее совершенствование и создание нового комплекта карт ОСР будет одной из задач предстоящих исследований [2–6]. Будет усовершенствована и шкала MSK-64.

Дифференцированная оценка сейсмических воздействий

В процессе исследований по общему сейсмическому районированию территории Российской Федерации ОСР-97 было показано, что карты макросейсмического режима, характеризующие «сотрясаемость» территории, и получаемая с их помощью количественная информация о

частоте возникновения на земной поверхности того или иного сейсмического эффекта важны для решения целого ряда практических задач в сейсмостойком проектировании и строительстве.

К таким задачам, в частности, относятся:

- выбор иных величин приемлемых рисков и периодов повторяемости сейсмического эффекта, а не только принятых в нормативных картах ОСР-97 вероятностей (10% для карты А, 5% для карты В и 1% для карты С) возникновения указанного на картах сейсмического эффекта и возможного его превышения в течение 50-летних интервалов времени, что соответствует периодам повторяемости сотрясений в среднем один раз в 500, 1000 и 5000 лет;
- дифференцированный подход к оценке сейсмической опасности и получение дробных значений величин сейсмической интенсивности, необходимых для уточнения ожидаемых сейсмических воздействий методом сейсмического микрорайонирования (СМР), в котором в виде поправок за счет влияния конкретных грунтовых условий определяются такие же дробные величины приращения сейсмической интенсивности;
- возможность учета влияния на строительные объекты многократных сейсмических нагрузок, приводящих к накоплению дефектов в строительных конструкциях и снижающих их прочность.

На рис. 2 в качестве примера практического использования карт макросейсмического режима приведен график, примененный нами для оценки сейсмических воздействий и определения величин дробных баллов для одной из площадок строительства объектов Олимпиады-2014 в г. Сочи. График построен по данным о периодах повторяемости для фиксированных 7, 8 и 9 баллов, взятым с карт макросейсмического режима (см. рис. 1) [1, 2]. По этому графику (или аналитическим путем) определяются дробные значения интенсивности для фиксированных нормативных периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет, то есть для карт ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С (горизонтальные стрелки). Как видно, в данном случае значения сейсмической интенсивности, ожидаемые на строительной площадке, оказались равными: 8,2 балла для карты ОСР-97-А; 8,6 балла — для ОСР-97-В; 9,0 балла — для ОСР-97-С. Именно к этим величинам, отнесенным к средним грунтовым условиям (для грунтов 2-й категории по СНиП II-7-81*), должны добавляться с соответствующим знаком (плюс или минус) значения приращений балльности, полученные при СМР на реальных грунтах площадки строительства. Из-за отсутствия в прошлом карт макросейсмического режима приходилось оперировать целочисленными бал-

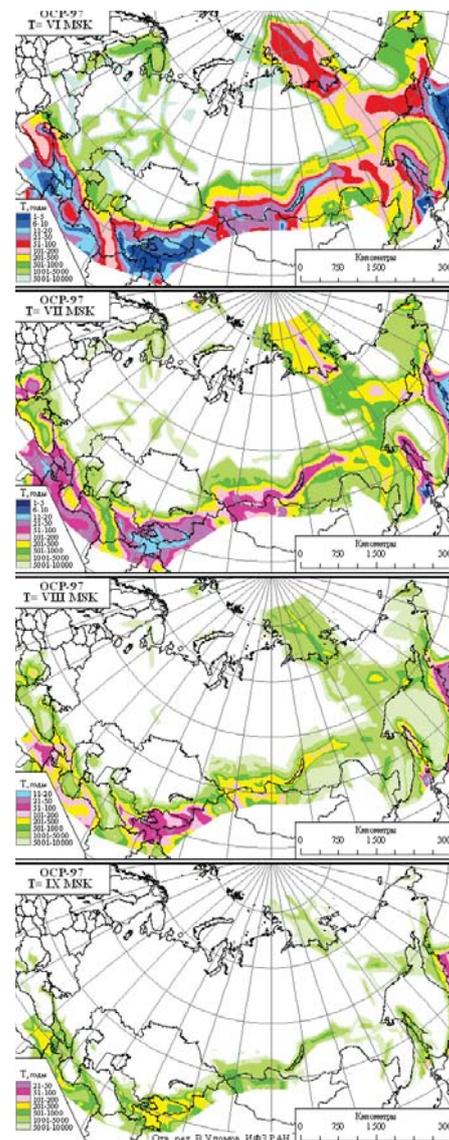


Рис. 1. Комплект карт периодов повторяемости сотрясений интенсивностью 6, 7, 8 и 9 баллов на территории Северной Евразии

лами, что приводило к существенному занижению или завышению оценок ожидаемых сейсмических воздействий.

Пунктирными стрелками на рис. 2 показано, каким образом графическим путем можно определить величину сейсмической интенсивности в случае выбора какого-либо иного периода повторяемости, интересующего пользователя. В данном примере это периоды, то есть интервалы времени, в 300 и 3000 лет.

Все получаемые величины могут быть выражены также в ускорениях сотрясения грунта и в иных количественных параметрах измерения сейсмических воздействий на здания и сооружения. Так, согласно [1], перевод сейсмической интенсивности (I , баллы) в пиковые ускорения (A , см/с²) можно осуществлять по корреляционным формулам (1) и (2), лимитирующим нижний (1) и верхний (2) пределы величин ускорений:

$$A_{MSK} = 10^{0,301I - 0,107}, \quad (1)$$

$$A_{SHA-97} = 10^{0,333I - 0,222}. \quad (2)$$

Зависимость (1) предписана СНиП II-7-81* в соответствии со шкалой MSK-64 и принимается в качестве нижнего предела, а зависимость (2) была предложена автором этих строк для территории Северной Евразии при участии в создании в 1992–1999 годах первой мировой карты глобальной сейсмической опасности [9, 10]. Значения ускорений, определенные в реальных грунтовых условиях, обычно оказываются внутри интервалов значений, вычисленных по формулам (1) и (2) [1, 5].

К вопросу об актуализации строительных норм

После первой публикации в 1998 году комплекта карт ОСР-97 (А, В, С), а не одной карты, как это традиционно делалось в прошлые годы, некоторые пользователи обратили внимание на то, что нередко участки одних и тех же территорий и расположенные на них населенные пункты имеют одну и ту же балльность на двух, а иногда и на трех картах ОСР-97 (А, В, С).

В качестве примера на рис. 3 проиллюстрированы различные сочетания величин сейсмической интенсивности, встречающиеся на разных картах ОСР-97 для одних и тех же городов, указанных в списке населенных пунктов, прилагаемом к СНиП II-7-81*. Вдоль оси абсцисс на этом рисунке помечены карты А, В и С, а по оси ординат пунктиром выделены полосы с градацией в один балл. При этом за «точку отсчета» принята самая распространенная и не столь «суровая», как остальные (В и С), карта ОСР-97-А, условно изображенная в форме прямоугольника в левом нижнем ряду на рис. 3 и в обобщенном виде отображающая любое целочисленное значение балла (6, 7, 8, 9 или 10).

Как видно, число случаев, когда балльность в пункте на каждой из последующих карт (ОСР-97-В и ОСР-97-С) возрастает на один балл, составляет 40%. В 10% случаев на один балл «возрастают» и имеют, казалось бы, равную величину две карты — В и С. В 49% случаев один и тот же балл совпадает на картах А и В. А совпадение номиналов на всех трех картах встречается лишь в 1% случаев.

Следует сказать, что такого прежде не происходило и не могло происходить по простой причине. Тогда пользовались лишь одной картой (в том числе и ОСР-78), а для учета степени ответственности проектируемых строительных объектов авторами СНиП в расчеты на сейсмостойкость вводились соответствующие так называемые «коэффициенты сейсмичности». А после смены парадигмы в оценке сейсмической опасности и появления вместо одной детерминистской карты целого набора современных вероятностных карт ОСР-97, которые уже были предназначены для учета сейс-

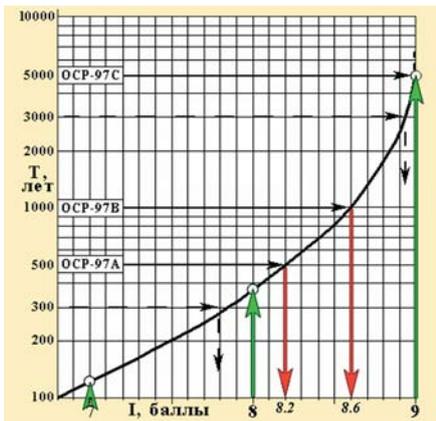


Рис. 2. Техника пересчета целочисленных баллов в дробные величины

мического риска и обеспечения безопасности объектов разных категорий ответственности и сроков службы, необходимо применения каких-либо коэффициентов вроде бы отпала.

Вместе с тем в проекте нового СНиП 22-03-2009 (явившегося актуализированной редакцией СНиП II-7-81*) появилась таблица, названная «Значения коэффициента А для данного участка (населенного пункта) в зависимости от сочетаний расчетной сейсмической интенсивности на картах А, В и С (комплекта ОСР-97)».

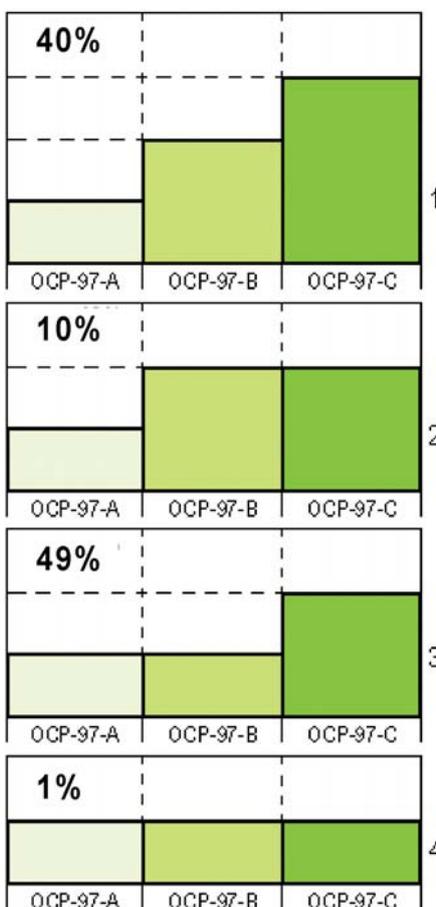


Рис. 3. Сочетания величин сейсмической интенсивности для одних и тех же населенных пунктов, указанных в списке СНиП II-7-81*

Не говоря уже о том, что использование одной и той же буквы (А) одновременно для наименования «коэффициента сейсмичности» и карты ОСР-97-А вносит определенную путаницу даже в название таблицы, представленные в ней 12 различных сочетаний карт А, В и С для четырех номиналов сейсмического эффекта (7, 8, 9 и 10) вводят в заблуждение пользователя, который воспринимает совершенно одинаковыми по сейсмическому воздействию, казалось бы, одни и те же баллы на разных картах, характеризующих разную степень риска. По существу же эти воздействия отличаются друг от друга.

Дело в том, что к таким «совпадениям» балльности на картах ОСР-97 приводят использование целочисленных величин сейсмической интенсивности (баллов) и обусловленные этим достаточно большие площади зон якобы равной сейсмической интенсивности. Если же выражать сейсмическую интенсивность в сейсмических зонах не в целочисленных баллах, а в полубаллах (то есть с шагом в 0,5 балла), то таких «совпадений» будет значительно меньше, а при построении карт в десятых долях балла они вообще могут исчезнуть [4]. (Кстати, переход к полубалльной градации был бы эффективен и в экономическом отношении.) На континуальных же (то есть «плавных») картах макросейсмического режима территорий при увеличении интервалов времени ожидания возникновения сейсмических воздействий (500, 1000, 5000 лет) таких совпадений вообще не будет, поскольку при этом сейсмический эффект возрастает по мере включения в работу все новых и новых сейсмогенерирующих структур (разломов) даже с чрезвычайно редким возникновением очагов землетрясений.

Наиболее просто понять разницу между якобы одинаковыми сейсмическими воздействиями в случаях «совпадения балльности» на разных картах, если представить карты ОСР-97 в виде, например, 90%-ной вероятности превышения той или иной балльности в течение 50 лет (карта А), 100 лет (карта В) и 500 лет (карта С). И конечно, в таких случаях нужно руководствоваться картой более высокого ранга (то есть меньшего риска), которая «гарантирует» строительным объектам более продолжительную безопасную службу.

Следовательно, правомернее приписывать «коэффициенты сейсмичности» (если таковые вообще требуются) не суммарному набору карт ОСР-97, а каждому типу карты в отдельности, отражая их значимость. Возрастание таких коэффициентов может быть подобным кривой, изображенной на рис. 2. При этом, как уже было сказано выше, «точкой отсчета» должна быть наиболее широко используемая карта ОСР-97-А, принимаемая за исходную единицу сейсмических воздействий.

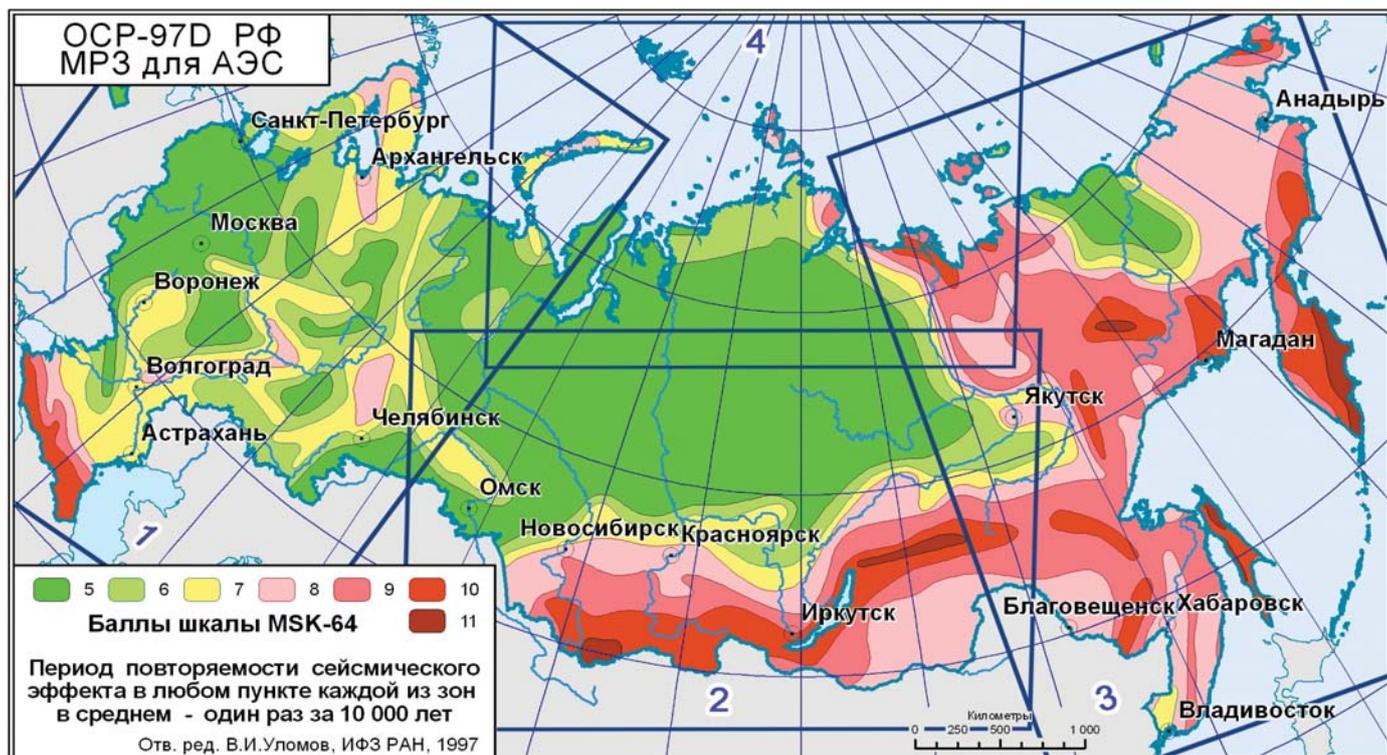


Рис. 4. Карта ОСР-97-D, предназначенная для АЭС и отвечающая требованиям МАГАТЭ. Перекрывающимися прямоугольниками оконтурены региональные листы будущих карт ОСР-2012 территории Российской Федерации

Заключение

В соответствии с вышеизложенным на первом же заседании Экспертной комиссии по сейсмостойкому строительству, посвященном вопросам актуализации СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах», автором этих строк, являющимся членом этой комиссии, были внесены следующие предложения для их официального признания.

С целью учета в проектировании зданий и сооружений их различной ответственности (социально-экономической значимости) следует применять соответствующие весовые коэффициенты не к суммарному набору карт, как это предлагается в проекте СНиП-2009 (табл. 2а), а к каждой из карт в отдельности, поскольку одна и та же величина сейсмической интенсивности, указанная в целочисленных баллах шкалы MSK-64 на картах ОСР-97 (А, В, С), характеризуется возрастающим сейсмическим воздействием, возникающим с разной степенью вероятности в заданные нормативные интервалы времени — 500 лет (карта А), 1000 лет (карта В) и 5000 лет (карта С).

Следует признать актуальным представление оценок сейсмической опасности в полубалльной градации сейсмической интенсивности (с шагом 0,5 балла), что должно быть отражено на картах регионального сейсмического зонирования РСЗ (аналоге ДСР), а также в списке населенных пунктов, прилагаемом к территориальным нормам. В случаях отсутствия инструментальных данных о количественных параметрах сейсмических воздействий

(ускорении, скорости, смещении, длительности колебаний и т.п.) допускается пересчет балльности в эти параметры по общепризнанным корреляционным формулам.

Следует признать приемлемым использование в промежуточных расчетах сейсмических воздействий дробных значений расчетной сейсмической интенсивности с шагом 0,1 балла для адекватного учета аналогичных поправок к этим значениям в реальных грунтовых условиях при сейсмическом микрорайонировании (СМР) площадей строительства.

Следует принять к сведению создания при Ассоциации Инженерные изыскания в строительстве (АИИС) Экспертной комиссии по сейсмогеодинамике и региональному сейсмическому зонированию, призванной рассматривать и утверждать результаты исследований по уточнению сейсмической опасности, сейсмическому районированию и микрорайонированию в региональных, территориальных и муниципальных масштабах, выполняемых организациями и коллективами, имеющими соответствующие свидетельства о допуске к таким работам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уломов В.И. Вероятностно-детерминированная оценка сейсмических воздействий на основе карт ОСР-97 и сценарных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. 2005. № 4. С. 60–69.
2. Уломов В.И. Инструментальные наблюдения сейсмических проявлений Восточно-Карпатских землетрясений на территории г. Москвы // Сейсмостойкое строительство: Безопасность сооружений. 2009. № 3. С. 34–42.
3. Уломов В.И. К оценке сейсмической опасности Приморского края // Инженерные изыскания. 2009. № 1. С. 40–47.
4. Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // Инженерные изыскания. 2009. № 9. С. 28–39.
5. Уломов В.И. О технологии актуализации карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмостойкое строительство: Безопасность сооружений. 2008. № 5. С. 14–20.
6. Уломов В.И. Оценка сейсмической опасности и актуализация инженерных решений // Сейсмостойкое строительство: Безопасность сооружений. 2008. № 3. С. 16–21.
7. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сеismoопасных районах. М.: ОИФЗ, 1999. 57 с.
8. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. М.: ВНИИТПИ Госстроя России, 1999. 56 с.
9. New Map Lays Out Global Seismic Hazard Values // EOS. 1999. Volume 80. December 28.
10. Uloinov V.I. Seismic hazard of Northern Eurasia // Annali di Geofisica 1999. Vol. 42. P. 1023–1038.