

В завершение этих исследований крипекс землетрясений региона рассмотрен в ракурсе актуальных проблем инженерной сейсмологии и геоэкологии. В частности, проведен анализ связи крипекса со спектральными характеристиками сейсмического излучения соответствующих очагов. Выявлено, что местные землетрясения с выраженным положительным крипексом характеризуются существенно пониженными частотами колебаний максимальной амплитуды в сравнении с землетрясениями с нулевым и, особенно, отрицательным крипексом и значительно большей их длительностью во времени. Поскольку (по данным исследований в Средней Азии [5]) землетрясения с выраженным положительным крипексом значительно сильнее (на 1-1,5 балла) влияют на трубопроводы и длинномерные строительные конструкции с пониженными собственными резонансными частотами, это требует учета выявленных особенностей распределения крипекса землетрясений Карпатского региона при сейсмическом районировании.

Литература:

1. Прозоров А., Хадсон Д. Соотношение поверхностных и объемных волн в различных регионах и в цепочках взаимосвязанных землетрясений. // Машинный анализ цифровых сейсмических данных. (Выч.сейс.). – М.: Наука. – 1974. – Вып.7 – С. 65 – 81.
2. Назаревич Л.Е. Характеристики сейсмичности и сейсмотектонического процесса в Закарпатье: новый взгляд на сейсмоекологическую опасность региона. // Науч. вестник Ив.-Франк. нац. техн. ун-та. нефти и газа. –Ив.-Франковск – 2002. – 4, №3 – С. 170 – 175.
3. Каверина А.Н., Прозоров А.Г. Вариации крипекса в зависимости от типа тектонических структур и механизма очага: статистический анализ. // Геодинамика и прогноз землетрясений. (Выч.сейс.).–М.: Наука. – 1994. – Вып.26. – С.85 – 93.
4. Леся Назаревич, Андрей Назаревич. Энергетические характеристики карпатских землетрясений // Сборник материалов научно-технического симпозиума "Геомониторинг-2002". – Львов – 2002. – С. 18 – 21.
5. Чернов Ю.К., Соколов В.Ю. Некоторые соотношения между параметрами колебаний грунта и макросейсмической интенсивностью землетрясений. // Вопросы инженерной сейсмологии. – М.: Наука. – 1983. – Вып.24. – С.96 – 104.

CEDIM: МЕТОДОЛОГИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Тягунов С.¹, Штемпниевски Л.¹, Грюнталь Г.², Вальстрём Р.², Шау Й.², Мюллер М.²

¹ Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology - CEDIM,
University of Karlsruhe, Am Fasanengarten, D-76128, Germany

² Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology - CEDIM,
GeoForschungsZentrum, Telegrafenberg F454, D-14473 Potsdam, Germany

CEDIM (Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology - Центр Управления Катастрофами и Уменьшения Риска), созданный совместно Потсдамским Центром Наук о Земле и Университетом Карлсруэ (www.cedim.de), в настоящее время проводит комплексные исследования по оценке и картированию различных природных и техногенных рисков на территории Германии, в том числе сейсмического риска. Данная статья посвящена описанию методологии оценки сейсмического риска на региональном уровне и представляет первые предварительные результаты проекта.

Значительная часть территории Федеративной Республики Германии (общая площадь страны составляет примерно 357 тысяч квадратных километров с населением

около 82 миллионов человек) подвержена сейсмической опасности, где, в соответствии с современной картой сейсмического районирования [1], интенсивность сейсмических сотрясений может достигать 7-8 баллов. Учитывая, что эта сейсмоопасная территория густонаселен и застроена жилыми, гражданскими и промышленными зданиями и сооружениями, а также объектами инфраструктуры, проблема оценки и уменьшения сейсмического риска является весьма актуальной. Анализ показывает, что сейсмический риск в Германии, несмотря на относительно невысокий уровень сейсмической опасности, представляет серьезную проблему, сочетая низкую вероятность возникновения землетрясений с потенциально высоким уровнем экономических последствий. Поэтому результаты оценки сейсмического риска представляют большую важность для проектировщиков и градостроителей, руководителей различного уровня, позволяя оптимизировать программы регионального развития и оптимизации антисейсмических мероприятий для снижения и предотвращения потенциального ущерба от возможных землетрясений.

За последние годы проблемы оценки сейсмического риска привлекают все большее внимание международного научного сообщества, а также правительственных и неправительственных организаций различных стран, расположенных в сейсмоопасных регионах планеты. Этой тематике посвящены публикации различных исследователей, включая сейсмологов и инженеров [2-12]. Несмотря на различные интерпретации и подходы к проблемам оценки риска у различных авторов, общепризнанным является то, что концепция сейсмического риска отражает оценку потенциальных потерь при вероятных будущих землетрясениях. При этом, основными составляющими факторами, определяющими уровень риска, являются опасность и уязвимость, а также ценности, подверженные существующей угрозе. Следует отметить, что подход к проблеме оценки сейсмического риска, а также его составных частей, зависит от географического масштаба рассматриваемых задач, в частности, следует различать площадочный масштаб (для отдельных строительных объектов), масштаб микрорайонирования (для городов и населенных пунктов) и региональный масштаб (для крупных областей или для всей страны). Методы анализа риска и детальность исследований различаются для каждого из этих уровней (масштабов) и определяются, соответственно, целями исследований. В настоящем исследовании, проводимом CEDIM применительно к территории всей Германии, проблема рассматривается на региональном уровне и дальнейшее изложение посвящено описанию соответствующих методов и моделей применяемых для анализа сейсмической уязвимости и риска в региональном масштабе.

Методика анализа построена с использованием пакета программ ArcView 8.3 ESRI для географических информационных систем (ГИС). Необходимая для расчетов географическая и статистическая информация получена из базы данных INFAS (www.infas-geodaten.de). Вся территория страны разбита на ячейки в соответствии с сеткой административных границ между городами и населенными пунктами. Таким образом, учитывая географический масштаб решаемых задач, в качестве единичного объекта нами рассматриваются населенные пункты, каждому из которых приписан ряд атрибутов, используемых в качестве расчетных параметров разработанного алгоритма. На первом этапе исследований для описания уровня сейсмической опасности для городов и населенных пунктов Германии использовалась так называемая карта DACH, которая представляет оценку сейсмической опасности в баллах шкалы сейсмической интенсивности (EMS-98 [13]) для территории трех смежных государств – Германии, Австрии и Швейцарии и была построена для вероятности превышения 90 % за период 50 лет [14]. Для целей данного исследования оценки сейсмической опасности были пересчитаны для центров городов и населенных пунктов, которые, как отмечено выше,

рассматривались в качестве ячеек расчетной сетки. Соответствующий слой ГИС представлен на рис. 1, а.

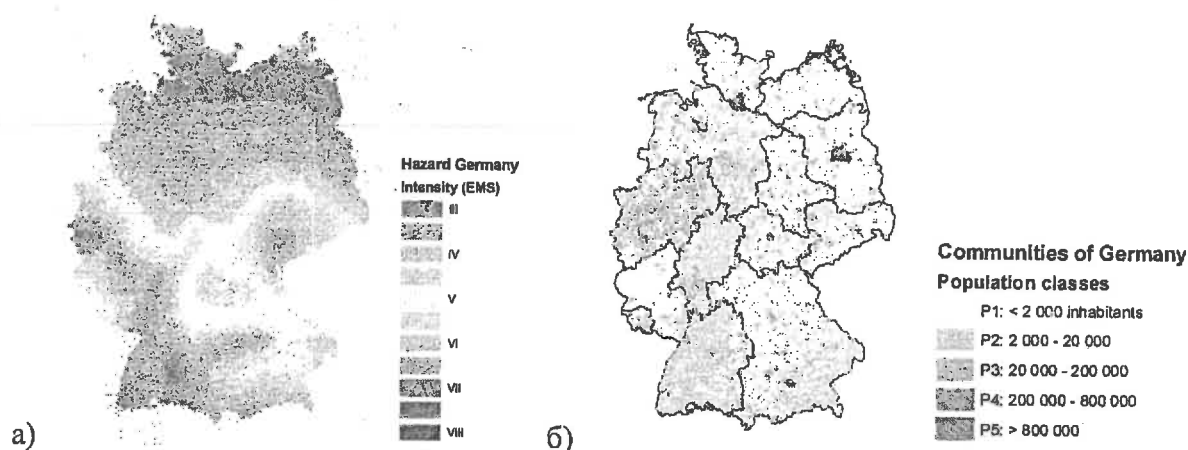


Рис. 1. Распределение сейсмической опасности (а) и населенных пунктов (б)

Анализ сейсмической уязвимости зданий и сооружений проводился с использованием классификации EMS-98 [13], где, в зависимости от типа сооружений, материала несущих конструкций и уровня антисейсмической защиты, введены шесть классов уязвимости с указанием наиболее вероятного класса, а также диапазона возможных вариаций. Исследования показывают, что для Германии представительными являются четыре класса уязвимости А, В, С, D, которые, в различной пропорции, составляют застройку городов и населенных пунктов страны. Принимая во внимание, что анализ уязвимости зданий и сооружений и их инвентаризация представляет собой процесс требующий значительных временных затрат даже на уровне одного города, для решения задачи на региональном уровне мы использовали упрощенный подход. Вся совокупность населенных пунктов Германии в зависимости от их размера (численности населения) была подразделена на 5 классов, а именно, класс P1 (менее 2000 жителей), класс P2 (2000-20000), класс P3 (20000-200000), класс P4 (200000-800000), класс P5 (более 800000). Слой ГИС, описывающий распределение населенных пунктов в соответствии с данной классификацией, представлен на рис. 1, б. Для указанных пяти классов были построены модели уязвимости застройки, которые, как предполагается, могут служить репрезентативными для всех населенных пунктов, относящихся к определенному размеру. В качестве прототипов для построения соответствующих моделей нами были использованы несколько городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмически опасных районах Германии. Дополнительные подробности, относящиеся к анализу сейсмической уязвимости застройки и построению расчетных моделей, приведены в [15-16]. Графическое представление расчетных моделей, использованных в рамках настоящих исследований, дано на рис. 2, где на секторных диаграммах показано процентное содержание зданий, относящихся к разным классам сейсмической уязвимости (по часовой стрелке от А до D), в городской застройке. Как следует из представленных данных, застройка более крупных городов отличается большим содержанием сейсмостойких зданий (меньшей уязвимостью) по сравнению с малыми городами и населенными пунктами.

Используя определения EMS-98, для классов уязвимости А, В, С, D были построены матрицы повреждаемости и функции уязвимости, определяющие ожидаемые повреждения в зданиях при различном уровне сейсмических воздействий. Как уже отмечалось, сейсмический вход в настоящем исследовании описывается в баллах шкалы

EMS-98, что касается уровня повреждений, то для пяти степеней повреждений, используемых в шкале, были введены интервалы оценки ущерба от нуля до 100%, соответствующие отношению стоимости восстановления поврежденного здания к его первоначальной стоимости. Таким образом, комбинируя функции уязвимости для классов А, В, С, D с построенными моделями уязвимости городской застройки, были получены функции удельного ущерба для пяти выделенных классов населенных пунктов, которые могут служить для оценки возможного ущерба при землетрясениях различной интенсивности. Эти графики представлены на рис.3.

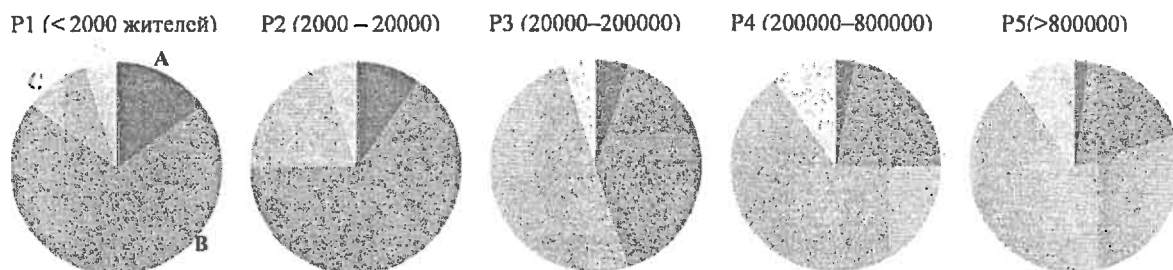


Рис.2. Модели уязвимости застройки

Комбинируя полученные данные с распределением городов и населенных пунктов на карте Германии (рис.1,б), а также с картой сейсмической опасности (рис.1,а), мы можем оценить соответствующее распределение удельного ущерба (рис.4,а). Под термином удельный ущерб (specific damage) понимается процентное выражение объема повреждений, которое соответствует определенному уровню сейсмической опасности и не учитывает реальное число зданий и сооружений, подверженных опасности или поврежденных в результате сейсмических воздействий.

Для оценки потенциальных экономических потерь кроме этого необходимы данные о реальном числе зданий и сооружений, а также других ценностей, включая их пространственное распределение и стоимостные оценки. В настоящее время проводится сбор этой информации, которая на следующем этапе исследований будет использована для количественной оценки и сравнения различных рисков. Для того чтобы получить первые предварительные оценки уровня потенциальных потерь и сравнительного

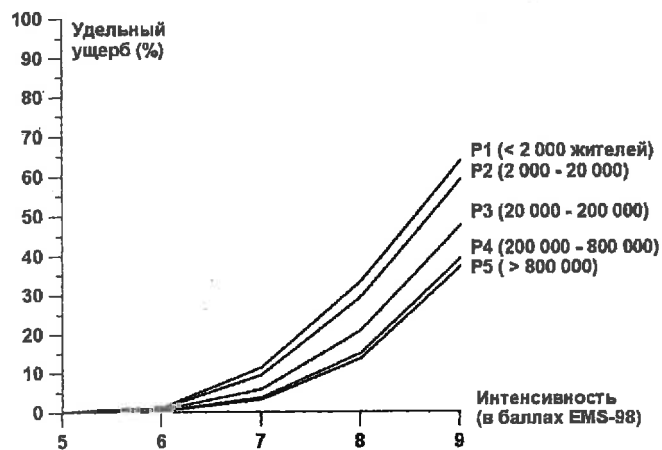


Рис.3. Функции удельного ущерба для городской застройки

распределения сейсмического риска на территории Германии, мы использовали упрощенный подход. Основываясь на предположении, что количество зданий, сооружений и материальных ценностей в городах и населенных пунктах пропорционально количеству жителей, мы определили уровень потенциального риска как произведение удельного ущерба и количества жителей. Кроме того, дополнительно введен стоимостной показатель 50000 Евро на одного человека, что, согласно предварительным подсчетам, характеризует стоимость строительства жилых зданий в земле Баден-Вюрттемберг. Результаты расчетов потенциального риска в виде слоя ГИС представлены на рис.4,б. Следует отметить, что, в соответствии с использованными оценками сейсмической опасности, полученные оценки удельного ущерба и потенциального риска соответствуют уровню вероятности не превышения 90% для 50 лет.

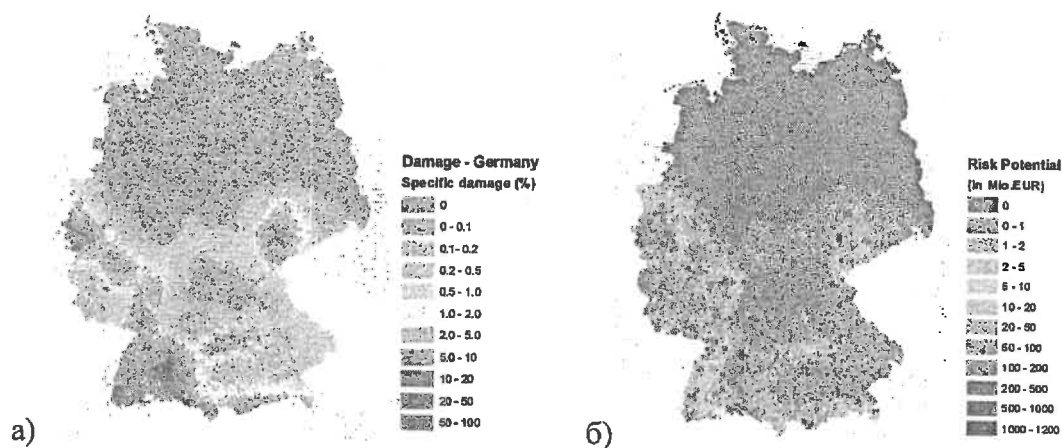


Рис.4. Распределение удельного ущерба (а) и потенциального риска (б)

Полученные результаты показывают, в частности, что, с одной стороны, малые города и населенные пункты характеризуются более уязвимой застройкой, вследствие чего можно ожидать более высокий процент поврежденных зданий и сооружений при возможных землетрясениях. С другой стороны, крупные города, расположенные в сейсмически опасных районах, даже учитывая, в целом, меньшую уязвимость застройки и, следовательно, меньшее число возможных повреждений, могут отличаться более высоким уровнем риска (потенциальных потерь), вследствие высокой концентрации материальных ценностей.

В заключение представляется целесообразным провести сравнение карт сейсмической опасности (рис.1,а), удельного ущерба (рис.4,а), и потенциального риска (рис.4,б). При том, что общая картина распределения оценок удельного ущерба и потенциального риска соответствует карте районирования сейсмической опасности, можно видеть выраженные отличия и особенности каждой из этих карт. Удельный ущерб, представляющий собой комбинацию сейсмической опасности и уязвимости не учитывает действительное число зданий и экономических ценностей, расположенных в городах и подверженных риску. В то же время карта потенциального риска, при построении которой распределение ценностей было учтено, хотя и в упрощенном виде, выглядит более дискретной и разнородной, акцентируя внимание на городах и населенных пунктах с повышенным уровнем риска, что является важным для проведения целевых антисейсмических мероприятий для подготовки к будущим землетрясениям и предотвращения катастрофических последствий.

Литература:

1. E-DIN 4 149 (2000). Bauten in deutschen Erdbebengebieten, Deutsches Institut für Normung, Berlin
2. Chen Yong, Chen Qifu, Liu Jie, Chen Ling and Li Juan (2002). Seismic Hazard and Risk Analysis: A Simplified Approach, Science Press, Beijing, China.
3. Earthquake Loss Estimation Methodology, HAZUS 99, (1999). Technical Manual, Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences, Washington.
4. Faccioli E. and Pessina V. (2000). The Catania Project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma.
5. Fäh D., Kind F., Lang K. and Giardini D. (2001). Earthquake scenarios for the city of Basel. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 405-413.
6. Frolova N., Larionov V., Sushchev S. and Ugarov A. (2003). Extremum System for Earthquake Risk and Loss Assessment, Proceedings of the Conference Skopje Earthquake – 40 Years of European Earthquake Engineering, Macedonia, Ohrid.
7. Papadopoulos G.A. and Arvanitides A. (1996). Earthquake Risk Assessment in Greece, Earthquake Hazard and Risk, Edited by V. Schenk, Kluwer Academic Publisher, 221-229.
8. RADIUS: Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters (2000). Geneva, Switzerland: IDNDR Secretariat, United Nations.
9. Schwarz J., Maiwald H. and Raschke, M. (2004). Erdbebenszenarien für deutsche Großstadträume und Quantifizierung der Schadenpotentiale. In B. Merz and H. Apel, editors: Deutsches Forschungsnetz Naturkatastrophen (DFNK) Abschlussbericht, 188-200, in press.
10. Zonno G., Cella F., Luzi L., Menoni S., Meroni F., Ober G., Pergalani F., Petrini V., Tomasoni R., Carrara P., Musella D., García-Fernández M., Jiménez M.J., Canas J.A., Alfaro A.J., Barbat A.H., Mena U., Pujades L.G., Soeters R., Terlien M.T.J., Cherubini A., Angeletti P., Di Benedetto A., Caleffi M., Wagner J.J. and Rosset P. (1998). Assessing seismic risk at different geographical scales: concepts, tools and procedures, Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, France.
11. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. (1997). Пособие для должностных лиц. Отв.ред. Г.А.Соболев, ИС ОИФЗ РАН, Москва.
12. Тягунов С.А., Инагамов Р.Ш., Исмаилов В.А., Валиев Т.С., Джураев А. (1996). Разработать методы количественного прогнозирования сейсмической опасности, сейсмических воздействий и сейсмического риска. Научный отчет 01.91.0043386, Институт сейсмологии АН Руз, Ташкент.
13. Grünthal G. (1998). European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15, Luxembourg.
14. Grünthal G., Mayer-Rosa D and Lenhardt W.A. (1998). Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten – Deutschland, Österreich, Schweiz. *Bautechnik*, 10, 19-33.
15. Tyagunov S., Stempniewski L., Grünthal G., Wahlström R. and Zschau J. (2004). Seismic Vulnerability and Risk Analysis at a National Scale: Methodology and Preliminary Results for Germany. Proceedings of the 3rd International Conference on Continental Earthquakes, 12-14 July, 2004, Beijing, China.
16. Tyagunov S., Stempniewski L., Grünthal G., Wahlström R. and Zschau J. (2004). Vulnerability and Risk Assessment for Earthquake Prone Cities. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 1-6, Vancouver, BC, Canada.