

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ГОРОДА БАКУ

Г.Р.Бабаев

*Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119*

В целях оценки сейсмической опасности г.Баку применен комплексный метод, учитывающий различные факторы сейсмогенеза в определении сейсмической опасности по данным двух землетрясений различной удаленности (близость – расстояние 50-60 км с магнитудой $M_L=6,2$ и удаленность – 100 км с $M_L=6,9$), имевших воздействие на город. В расчете участвовало 480 квадратных ячеек, охватывающих территорию города с шагом $100 \times 100 \text{ м}^2$. Построены модели сейсмической опасности в квадратных сетках (ячейки), покрывающих территорию города. Они комбинируют рассмотренные сейсмогенерирующие элементы и определяют сотрясаемость в максимальных ускорениях грунта и интенсивности. Выявлено, что большинство территории города Баку подвержено VII-VIII-балльным сейсмическим воздействиям. Согласно модели, в случае землетрясения с очагом вблизи города Баку свыше трети площади города оказывается в опасной в сейсмическом отношении девятибалльной зоне.

Введение

Кавказский регион находится в активной континентальной зоне коллизии Аравийской и Евразийской плит, играя существенную роль в динамике литосферных структурных единиц этих плит. Аравийско-Евразийская коллизия продолжает проявляться в результате литосферного укорочения и тем самым латерального смещения литосферы из зоны коллизии вдоль правостороннего смещения по простиранию. Эти региональные тектонические процессы провоцируют землетрясения, сотрясая Кавказский регион в течение всей истории их проявления (Kadirov et al., 2008; Reilinger et al., 2006). Глубинные процессы в земной коре достигают высоких значений в пределах Большого Кавказа, включая и южные предгорья (Ахмедбейли, 2004). Большинство землетрясений происходит в результате разлома надвигового типа с некоторыми проявлениями событий в результате разлома по типу нормального сброса (Agayeva, 2006). Сейсмичность является одной из важнейших опасностей в Кавказском регионе. Оценка сейсмической опасности актуальна для всей территории Азербайджана, где даже в относительно спокойных в геологическом отношении равнинных регионах имели место в прошлом и возможны в будущем сильные землетрясения. Как известно, землетрясения по своей величине и частоте повторения подчинены фундаментальной закономерности, очень важной

для исследований сейсмической опасности. И хотя наиболее крупные сейсмические события происходят в одном и том же очаге чрезвычайно редко – один раз в сотни, а иногда и в тысячи лет, но, проявляясь в очагах по соседству, они могут создавать вполне реальную угрозу строительным объектам и урбанизированным территориям (Уломов, 1999).

В последние годы в связи с усовершенствованием инфраструктуры, увеличивающейся урбанизацией, интенсивным строительством гражданских, промышленных и жилищных объектов, нестабильностью грунтовых условий, изменением фоновой сейсмичности и недостаточностью понимания сущности термина «сейсмическая катастрофа» степени ожидаемых потерь и разрушений в городе Баку в случае сильного землетрясения будут значительными. При этом применение комплексной методики оценки сейсмической опасности является одним из главных приоритетов в проведении мероприятий, направленных на снижение степени опасности в городе Баку. Целью исследования является оценка сейсмичности города Баку по данным двух сценарных произошедших землетрясений в исторический и современный инструментальный периоды, в частности в случае главного толчка Шамахинского землетрясения 1902 года и главного толчка Каспийского землетрясения 2000 года в значениях максимального ускорения колебаний грунта по макросейсмическим характеристикам этих сценарных землетрясений.

Сейсмические условия города Баку

Город Баку и его районы часто подвергались сотрясениям в результате сильных землетрясений, очаги которых расположены как в пределах, так и вне Абшеронского полуострова, главным образом в Шамаха-Гобустанской области и азербайджанской акватории Каспийского моря (Бабаев, 2005) (рис.1).

Для площади города Баку и всего Абшеронского полуострова наиболее опасными являются очаги землетрясений Североабшеронской сейсмогенной зоны, что обусловлено тем, что она является юго-восточным продолжением Главнокавказской системы разломов. Этот разлом отличается высокой сейсмической активностью, здесь происходили VII и VIII-балльные землетрясения в районе г. Сумгайыт и поселка Маштага (Агамирзоев, 1987). Опасность для исследуемой территории представляет также Южно-абшеронская сейсмогенная зона, являющаяся продолжением Вандамской системы глубинных разломов. Расчетные оценки потенциальной сейсмичности для этой сейсмогенной зоны показали, что интенсивность максимальных ожидаемых событий может составлять VI-VII баллов (Агамирзоев, 1987), что согласуется с параметрами сильного землетрясения 25 ноября 2000 года (Бабаев, 2005).

В результате этого землетрясения только в г. Баку в разной степени пострадало около 1236 жилых домов, 101 объект образования, 77 административных объектов и более 20 зданий больниц и поликлиник. Частично разрушено 29 жилых домов. В г. Сумгайыт 18 жилых домов находятся в аварийном состоянии (Гасанов и др., 2005).

Всего по республике от землетрясения в разной степени пострадало 7350 домов, в том числе частично разрушено: 34 жилых дома, 1 школьное здание и 1 объект культуры. Сильно поврежденными и разрушенными оказались в основном 1-3-х этажные дома, построенные в начале прошлого века. Характерно, что высотные крупнопанельные и каркасные здания, построенные 30-40 лет назад, получили легкие повреждения (трещины в стенах) (Гасанов и др., 2005). Несмотря на то, что полностью не был разрушен ни один жилой дом, погибло 3 человека в результате падения камней с крыш домов, балконов и стен, около 20 человек умерли от испуга и сердечных приступов, что было связано с незнанием элементарных правил поведения при сильных землетрясениях. В городе не было

отмечено пожаров, срывов линий коммуникаций, за исключением телефонных связей. Ущерб, причиненный землетрясением по данным Государственной Комиссии по чрезвычайным ситуациям республики оценивается в сумму свыше 100 миллиардов манат (в старом эквиваленте), в том числе для г. Баку – около 60 миллиардов манат (Гасанов и др., 2005).

Сравнительно менее сейсмоопасными для города Баку являются землетрясения Махачкала-Красноводской зоны. Землетрясения, связанные с этой структурой ощущаются в Предкавказье и в Западной Туркмении с интенсивностью IX-X баллов при $M \geq 7$; землетрясения 1961 и 1963 годов с интенсивностью VII-VIII баллов связаны с данной зоной. События, связанные с этой зоной, могут ощущаться в Баку с интенсивностью в VI баллов. Землетрясения Западно-Каспийской и Центрально-Каспийских сейсмогенных структур могут ощущаться в Баку интенсивностью не более V баллов.

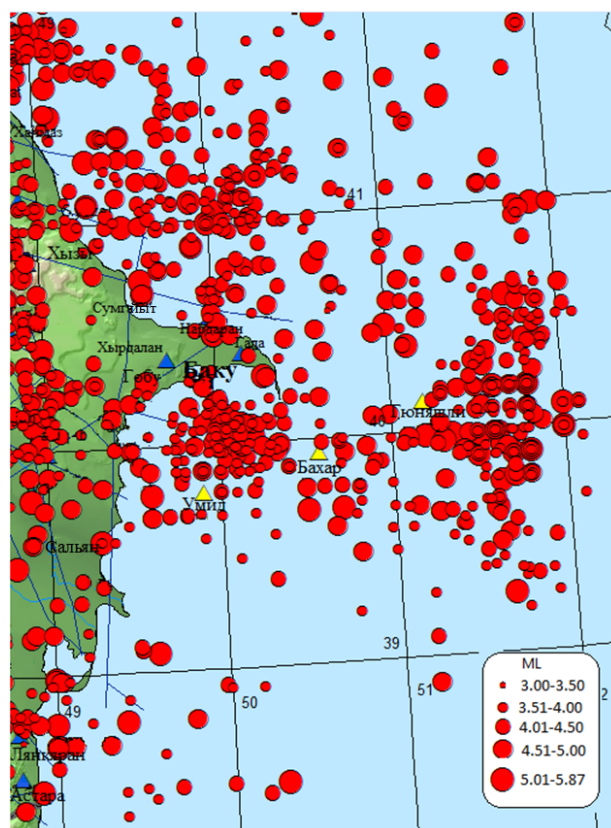


Рис. 1. Карта эпицентров ощутимых землетрясений Абшеронского полуострова и прилегающих территорий, имевших воздействие на полуостров и город Баку за период 1842-2014 гг. с магнитудой $M_L \geq 3$ (красные кружки). Желтыми треугольниками обозначены донные сейсмические станции, синими (темными) – наземные.

Методический подход

Применяемый метод основывается на рассмотрении сейсмогенерирующих элементов в совокупности с исследованием сейсмичности, сейсмического эффекта, инженерно-сейсмологических параметров и позволяет в конечном итоге определить величины сейсмической опасности. Вычисления сейсмической опасности производились для каждого узла квадратной сетки, покрывающей шагом $100 \times 100 \text{ м}^2$ всю исследуемую территорию. Всего для указанных землетрясений различной удаленности (близость с эпицентральной расстоянием в 50-60 км и магнитудой $M_L=6,2$ и удаленность с расстоянием в 100 км и магнитудой $M_L=6,9$) в расчете участвовало 480 узлов квадратной сетки, охватывающих территорию города Баку (Кондорская и др., 1977).

На различных этапах исследования были проанализированы активные разломы, вычислен коэффициент затухания сейсмической волны для нижележащих пород и вышележащих слоев грунта (Кулиев, 1980, 1986; Медведев, 1977), определены геолого-геофизические характеристики территории Абшеронского полуострова, вычислен фактор усиления амплитуды сейсмической волны, дана оценка сотрясаемости коренных и поверхностных слоев земной коры.

Для оценки ожидаемых значений максимальных амплитуд коренных слоёв для каждого узла квадратной сетки были использованы следующие формулы.

Для удалённых событий:

$\text{Lg } A_p = 0,80M - 2,3\text{Lg } R \text{ (км)} + 0,80$, при $A < 160 \text{ см/с}^2$.

Для близких событий:

$\text{Lg } A_p = 0,28M - 0,8\text{Lg } R \text{ (км)} + 1,7$, при $A \geq 160 \text{ см/с}^2$.

Здесь

A_p – максимальное ускорение (гал);

M – магнитуда;

R – гипоцентрального расстояние (км).

Геологическая структура от поверхности до нижележащих (коренных) пород была смоделирована как горизонтальная многослойная среда со значениями скоростей поперечных волн, мощности, плотности слоев и затуханием сейсмического эффекта. Результативные модели землетрясений были построены на основе эмпирических подходов, на основе вычислений по существующим формулам без наличия в основном записей сейсмических волн, акселерограмм (хотя акселерограммы были построены в результате использова-

ния программного обеспечения SHAKE). SHAKE был применен для вычисления фактора усиления амплитуды сейсмической волны для тех грунтов, которые состоят из рыхлых типов пород.

Результаты

Построенные модели сейсмической опасности по узлам квадратной сетки города Баку комбинируют все рассмотренные элементы и определяют сейсмическую сотрясаемость в максимальных ускорениях грунта в соотношении с сейсмической интенсивностью по данным близкого и удаленного ощутимых землетрясений (рис. 2).

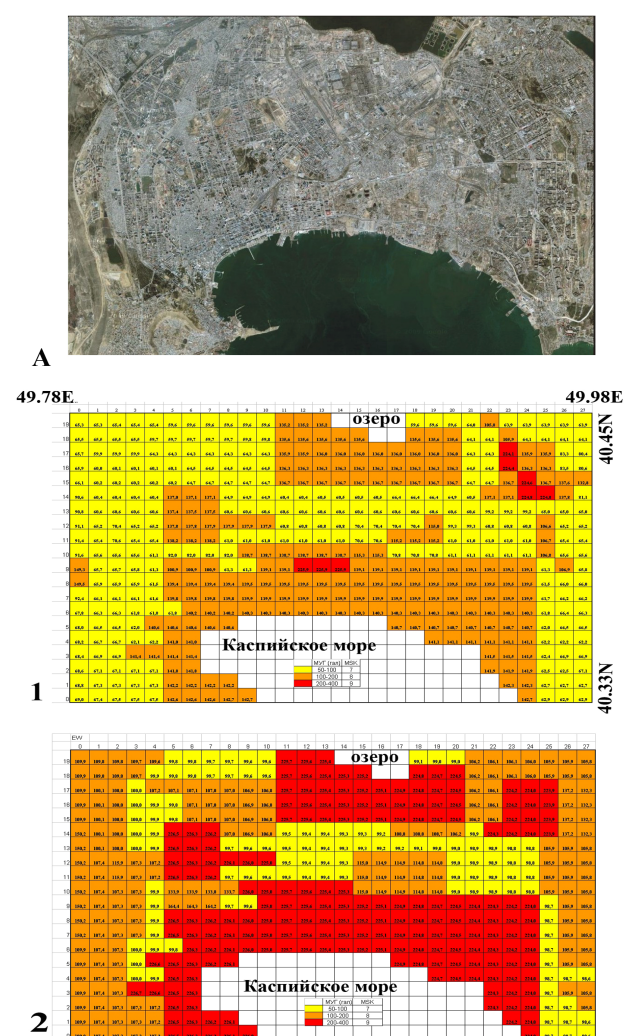


Рис. 2. Комплект моделей сейсмической опасности города Баку, отражающих расчетные значения максимального ускорения грунта в соотношении с сейсмической интенсивностью для двух землетрясений.

A – Спутниковый снимок города Баку

1 – Каспийское землетрясение 2000 года с $M_L=6,2$;

2 – гипотетическое экстремальное (удаленное) Шамахинское землетрясение 1902 года с $M_L=6,9$

По моделям оценена степень сейсмической опасности в регионе, а также представлен ожидаемый сейсмический эффект по интенсивности сотрясений в баллах в городе Баку. Полученные модели демонстрируют, что большинство территории города Баку подвержено VII-VIII-балльным сейсмическим воздействиям. При гипотетическом экстремальном (удаленном) Шамахинском землетрясении (рис. 2, 2) свыше трети площади города Баку оказывается в опасной в сейсмическом отношении девятибалльной зоне.

Выводы

Главным выводом данного исследования является то, что, невзирая на дальность сейсмического события, при высоких магнитудах в сейсмических очагах в исследуемой зоне все же выявляется опасная в сейсмическом отношении девятибалльная зона. С этой точки зрения полученные модели позволяют по-новому взглянуть на проблемы существования сейсмической опасности в урбанизированных территориях, к которым относится город Баку.

ЛИТЕРАТУРА

- АГАМИРЗОЕВ, Р.А. 1987. Сейсмоструктура азербайджанской части Большого Кавказа. Элм. Баку. 124с.
- АХМЕДБЕЙЛИ, Ф. 2004. Неотектоника и некоторые аспекты позднеорогенной геодинамики Азербайджана. Nafta-Press. Баку. 269с.
- БАБАЕВ, Г.Р. 2005. Оценка сейсмического риска территории города Баку. Диссерт. на соиск. ст. канд. геол.-минер. наук. Фонды ИГ НАНА. Баку. 150с.
- ГАСАНОВ, А.Г., ПАНАХИ, Б.М., ЕТИРМИШЛИ, Г.Д., АГАЕВА, С.Т., АБДУЛЛАЕВА, Р.Р. 2005. Каспийское землетрясение 25.11.2000. *Известия НАНА. Науки о Земле*, 1, 43-51.
- КОНДОРСКАЯ, Н.В., ШЕБАЛИН, Н.В., ХРОМЕНЕЦКАЯ, Е.А. 1977. Новый каталог сильных землетрясений в СССР с древних времён до 1975 года. Наука. Москва. 535с.
- КУЛИЕВ, Ф.Т. 1980. Уравнение макросейсмического поля Азербайджана. *Сейсмологический бюлл. Кавказа, январь-декабрь 1977*. Мецниереба, Тбилиси, 129-140.
- КУЛИЕВ, Ф.Т. 1986. Отчёт о сейсмическом микрорайонировании территории Большого Баку. *Фонды Института геологии АН Азерб. ССР*. Баку. 56с.
- МЕДВЕДЕВ, С.В. 1977. Сейсмическое микрорайонирование. Наука. Москва. 139с.
- УЛОМОВ, В.И. 1999. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии. *Вестник ОИГГН РАН*, 4 (7), 32с.
- AGAYEVA, S. 2006. Stress state of the Earth's crust in Azerbaijan. Recent geodynamics, georisk and sustainable development in the Black Sea to Caspian Sea region. *Conference proceedings of American Institute of Physics*, 825, Melville, New York, USA, 97-102.
- KADIROV, F., MAMMADOV, S., REILINGER, R., McCLUSKY, S. 2008. Global positioning system measurements of tectonic deformation in Azerbaijan: new constraints on active faulting and earthquake hazards. *Proceedings Azerbaijan National Academy of Sciences*, 1, 82-88.
- REILINGER, R., McCLUSKY, S., VERNANT, P., LAWRENCE, Sh. et al. 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical research*, 111, 005JB004051.

Рецензент: д.г.м.н. К.Дж.Етирмишли