

ОЦЕНОЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

Заалишвили В. Б., д-р физ.-мат. наук, проф.,
Акбиев Р. Т., канд. техн. наук
(ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва),
Бурдзиева О. Г., канд. геол. наук, вед. науч. сотр.
(Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ)

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ НАГРУЗКАХ

Целью работы являлась разработка и реализация методики оценки ожидаемого сейсмического риска современного города на примере отдельной выделенной территории г. Владикавказа, в качестве которой была выбрана ул. Куйбышева и прилегающие к ней кварталы. Выбор указанной улицы объяснялся тем обстоятельством, что она характеризуется грунтовыми условиями, типичными для грунтовой толщи, слагающей всю территорию города. При этом именно застройка ул. Куйбышева включает практически все виды зданий, формирующих городскую среду. На основе дифференциации грунтовых условий улица условно была разделена на 6 участков. Далее рассчитывались приращения интенсивности относительно эталонных грунтов, т. е. проводились работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР) каждого из участков. При этом интенсивности участков изменялись в пределах 7–9 баллов. Каждый тип здания характеризуется определенной уязвимостью на тот или иной уровень сейсмического воздействия. При этом учет конкретных видов грунтов и типов застройки с расчетными интенсивностями и уязвимостями типов зданий обусловил различный уровень ожидаемых экономических потерь. Далее на основе учета ожидаемых повреждений в застройке ул. Куйбышева были рассчитаны ожидаемые социальные потери. В завершение были установлены сейсмические риски территории, включающие указанные экономические и социальные потери. В этой связи представляет интерес анализ вариаций сейсмических рисков по ул. Куйбышева, фактически являющейся моделью города.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, детальное сейсмическое районирование, сейсмическое микрорайонирование, уязвимость застройки, классификация типов зданий, интенсивность, грунтовые условия, сейсмический риск, экономические и социальные потери

Введение

Последние десятилетия в России характеризовались высокими темпами прироста населения, промышленности, инфраструктуры в крупных городах и промышленных центрах, расположенных в сейсмоактивных регионах. При строительстве не всегда учитывались особенности местных грунтов и уровень сейсмической опасности. Изучение последствий сильных и разрушительных землетрясений создали условия для новых научных разработок в инженерной сейсмологии и сейсмостойком строительстве. Сейсмическое районирование урбанизированных территорий имеет безусловную актуальность, т.к. это позволяет более детально выявлять очаги возможных землетрясений, оценить сейсмический риск территории и осуществить строительство зданий и сооружений с заданной сейсмостойкостью. В конце 20 века в России были разработаны методы оценки сейсмического риска уже существующих зданий и сооружений. Эти программы учитывали многочисленные объективные и субъективные факторы, влияющие

на уровень сейсмического риска урбанизированных территорий. Ниже рассмотрены особенности их применения. Одна из методик оценки риска была разработана проф. С.Ю. Баласаняном в 1991 г. [1]. После восьми лет успешных работ стратегия была одобрена в 1999 г. Правительством Армении, как государственная программа. Согласно этой методике, наибольший вклад в масштаб возможных потерь, в случае сильного землетрясения, вносят следующие составляющие:

1. Сейсмическая опасность территории;
2. Население и его плотность в зонах высокой сейсмической опасности;
3. Область зон, содержащих здания и сооружения, которые имеют низкую сейсмостойкость по сравнению с уровнем сейсмической опасности.

Подобный подход, основанный на учете только главных факторов риска, позволяет значительно сократить время и финансовые расходы, необходимые для получения полной информации обо всех слагаемых риска. Кроме этого, значительное сокращение количества тре-

буемой исходной информации приводит к ее большей простоте и однородности. При этом использование только главных факторов при оценке риска дает весьма точное (около 90%) представление о сейсмическом риске.

Особенно эта проблема актуальна для районов Кавказа. Республика Северная Осетия – Алания расположена в сейсмически активной зоне. Естественным представляется оценить сейсмический риск в столице республики – г. Владикавказ. Для исследования была избрана ул. Куйбышева и прилегающие к ней кварталы. Выбор данного района в качестве объекта исследования обусловили следующие факторы: относительно большая площадь района (1,35 км²); в пределах данной территории представлены объекты различных типов конструкций с разной этажностью (жилые дома, школы, административные и общественные здания, рынки и т.д.); исследуемый район включает практически все грунтовые условия характерные для всего города Владикавказа. Определение риска сейсмических потерь (RSL) рассчитывалось по формуле [1]

$RSL = K_R K_S K_p$ (1)
где K_R – рейтинг риска, учитывающий интенсивность сейсмического воздействия; K_S – рейтинг уязвимости зданий, расположенных в пределах изучаемого участка; K_p – коэффициент уязвимости людей, находящихся внутри или около исследуемых объектов.

На основе учета грунтовых условий, в том числе, рельефа исследуемого участка города, был определен рейтинг сейсмического риска всех 6 участков. Для характеристики сейсмических потерь в соответствии с формулой были приняты три степени риска: высокий ($RSL > 1,1$), средний ($1,0 < RSL < 1,1$) и низкий ($1,0 < RSL$). Анализ данных показал наличие в результатах определенных аномалий. Метод разработан для больших площадей застройки, и на малых площадях, на наш взгляд, дает приближенные результаты и носит скорее демонстрационный характер. Это может считаться его заметным недостатком, т. к. результаты исследования нуждаются в дополнительном, более детальном уточнении. В связи с этим использовались другие подходы.

Исследования впервые выполнялись в 2005 г. в процессе выполнения Проекта NATO «Science for Peace» Program Project «Seismic Risk of Large Cities of Caucasus: Tools for Risk Management» (NATO SfP 974320), 1999–2005 [2], [3]. Целью работы являлась разработка и реализация методики оценки ожидаемого сейсмического риска современного города на примере отдельной выделенной территории г. Владикавказа. Это позволило бы в дальнейшем решать вопросы страхования на основе количественных оценок [4].

Согласно основной идее Проекта в каждом городе – столице страны-участника или «региона» на специально выделенной территории должны были быть проведены работы по оценкам сейсмической опасности и сейсмического риска. При этом исследуемая территория представляла собой ту или иную улицу в виде оси обрамленной с обеих сторон в продольном направлении соответствующей застройкой. Улица, кроме того, должна была быть ориентированной перпендикулярно руслу той или иной реки и, пересекая поперек территорию, формируемую террасами реки, самым естественным образом включала бы в рассмотрение различные грунтовые условия, типичные для города. Строго говоря, для весьма больших территорий с большим многообразием ландшафтов и даже рек такой под-

ход был бы не совсем корректным. В то же время, анализ данных ранее проведенных геологоразведочных исследований, показывает, что даже для достаточно больших городов с миллионным населением (Баку, Тбилиси и Ереван) и, тем более достаточно малых (Владикавказ), такой подход оказался вполне надежным. При этом за редким исключением можно было наблюдать все основные типы грунтов и их совокупностей городской территории. В г. Владикавказе в качестве таковой была выбрана ул. Куйбышева. Выбор указанной улицы объяснялся тем обстоятельством, что она характеризуется грунтовыми условиями, типичными для грунтовой толщи слагающую всю территорию города. При этом именно застройка ул. Куйбышева включает практически все виды зданий, формирующих городскую среду. На основе дифференциации грунтовых условий улица условно была разделена на 6 участков с различными грунтовыми условиями. Далее, рассчитывались приращения балльности относительно эталонных грунтов, т. е. проводились работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР) 6 больших строительных площадок. Эталонные грунты были установлены на территории г. Владикавказа ранее в процессе проведения сейсмического микрорайонирования в 1969–1970 гг. и вновь были пересмотрены и уточнены при создании новой карты СМР города в 2010 г. с помощью новых подходов [5] – [7]. Это позволило рассчитать ожидаемые интенсивности для указанных 6 участков, которые для протяженной ул. Куйбышева, сложенной грунтами со значительно различающимися сейсмическими свойствами, не были одинаковыми и изменялись в пределах 7–9 баллов. Хотя оценка сейсмического риска всего города, согласно указанному проекту, должна была быть проведенной непосредственно вслед за этим, именно на основе новой карты СМР города, из-за отсутствия финансирования оценка риска и составление соответствующей карты риска, так и оказалась не реализованной. При этом методика была уже апробированной [6] – [8]. Но возвращаясь к ул. Куйбышева, необходимо отметить, что для завершения исследовательской цепочки в 2019 г. были обновлены исследования и уточнены расчеты оценки сейсмического риска. Известно, что каждый тип здания характеризуется определенной уязвимостью на тот или иной уровень сейсмического воздействия. Значения уязвимостей и другие ожидаемые параметры опреде-

лялись на основе статистического анализа данных большого числа прошлых землетрясений и поэтому могут быть с достаточной надежностью использованы в расчетах. При этом учет конкретных видов грунтов и типов застройки с расчетными интенсивностями и уязвимостями типов зданий обусловил различный уровень ожидаемых экономических потерь. Далее на основе учета ожидаемых повреждений в застройке по ул. Куйбышева были рассчитаны ожидаемые социальные потери. В завершение были установлены сейсмические риски территории, включающие указанные экономические и социальные потери. Представляет интерес анализ вариаций сейсмических рисков по ул. Куйбышева, фактически являющейся моделью города.

1 К расчету риска сейсмических потерь на примере ул. Куйбышева в г. Владикавказе

Район исследования размещался на площади 1,35 км², его южной границей служила ул. Горького, северная оконечность проходила по ул. Джанаева, Маркова, пер. Осипенко, братьев Шукиных; на западе участок простирался до реки Терек, а на востоке он ограничивался по соответствующей линии построенного городка Весна. Застроенная часть площади была условно разделена на шесть приблизительно равных участков, которые при прослеживании с востока на запад именовались: 1) Весна; 2) Балкинский пр. – ул. Пионеров; 3) Ул. Пионеров – ул. Лермонтовская; 4) Ул. Лермонтовская – ул. Фрунзе; 5) Ул. Фрунзе – ул. Ленина; 6) Ул. Ленина – река Терек. В пределах любого из участков, на векторной графике выделялись различные объекты и их этажность (отдельные жилые дома и их группы, школы, институты, административные и общественные здания, рынки и т. д.), по каждому из которых устанавливались конструктивные типы сооружений (А, В, С, D) и их этажность. Конструктивные типы зданий устанавливались при рассмотрении проектно-сметной документации, а также при освидетельствовании сооружений на местности, для чего были привлечены научные сотрудники института.

В каждом из перечисленных выше участков определялась его общая площадь, а также суммарная площадь, занятая различными застроенными объектами. Определение площадных показателей осуществлялось с использованием

программы AutoCAD. На всех участках вычислялась средняя этажность построенных сооружений, по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{S_1 \cdot \mathcal{E}_1 + S_2 \cdot \mathcal{E}_2 + \dots + S_m \cdot \mathcal{E}_m}{\sum_1^m S}, \quad (2)$$

где S_1, \dots, S_m – площади отдельных застроенных объектов;

$\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_m$ – соответствующая каждой площади этажность.

Далее во всех выделенных площадях осуществлялась экспрессная оценка численности населения с применением формулы

$$Q_{уч} = S_{уч} \cdot \mathcal{E}_{cp} / 20,$$

где $S_{уч}$ – суммарная площадь застройки по каждому вычисляемому участку;

\mathcal{E}_{cp} – средняя этажность построенных объектов на подсчитываемом участке;

20 – значение экспертной величины, которая соответствует общей площади в m^2 , приходящейся на одного жителя.

Определение *риска сейсмических потерь (RSL)*, реализовывалось как

$$RSL = K_R \cdot K_S \cdot K_p,$$

где K_R – рейтинг риска, равный $K_R = \frac{I_{hz}}{I_{rl,r}}$;

I_{hz} – интенсивность сейсмического воздействия;

$I_{rl,r}$ – сейсмостойкость зданий и сооружений, выраженная в баллах шкалы MSK-64;

K_S – рейтинг уязвимости зданий, расположенных в пределах площади отдельных

участков, размещенных в районе ул. Куйбышева, равен $K_S = \frac{S_b}{S}$;

S_b – площадь застроек с различной степенью риска разрушений;

S – общая площадь застроек, выраженная в m^2 ;

K_p – коэффициент уязвимости людей, равный $K_p = \frac{P_b}{P}$;

P_b – число людей, находящихся в зданиях с различной степенью риска разрушений;

P – экспертная оценка общей численности населения, проживающего в каждом из выделенных участков, примыкающих к ул. Куйбышева.

В таблице 1 и на рисунке 1 приведены необходимые параметры для расчета риска ожидаемых сейсмических потерь.

Для характеристики риска сейсмических потерь по аналогии с работой армянских ученых [1] были приняты три степени риска: высокий ($RSL > 1,1$), средний ($1,1 \geq RSL > 1,0$) и низкий ($RSL \leq 1,0$).

Проанализированную часть площади г. Владикавказа можно представить в виде плана риска сейсмических потерь, с детальностью до любого существующего строения. На таком плане каждый из шести выделенных ранее участков, будет отображен в соответствии с подсчитанным риском сейсмических потерь и предполагающимся уровнем сейсмического воздействия.

Для территории г. Владикавказа в Геофизическом институте в 2010 г. был составлен набор карт сейсмической опасности для повторяемости 50 лет и вероятностью превышения сейсмической опасности 1%, 2%, 5% и 10% [9]. Полученные данные относятся к так называемым «средним грунтам». Для территории г. Владикавказа отдано предпочтение карте ДСР с вероятностью 5%, которая приближается к существующим оценкам уровня сейсмической опасности (повторяемость 1000 лет) для региона [10], [11]. При этом территория города полностью находится в 8-балльной зоне. Таким образом, площадь застройки, прилегающей к ул. Куйбышева, пространственно располагаясь вблизи центральной части города, находится в 8-балльной сейсмической зоне в соответствии с картой ДСР.

2 Расчет ожидаемого экономического ущерба

По определению риск – это вероятность экономического и социального ущерба для данной территории за определенный промежуток времени.

Возможны оценки риска, выраженные в процентном отношении потерь для отдельных элементов риска или в денежном выражении этих потерь. Процентное выражение сейсмического риска удобнее тем, что для отдельных элементов риска такое выражение более стабильно. Про-

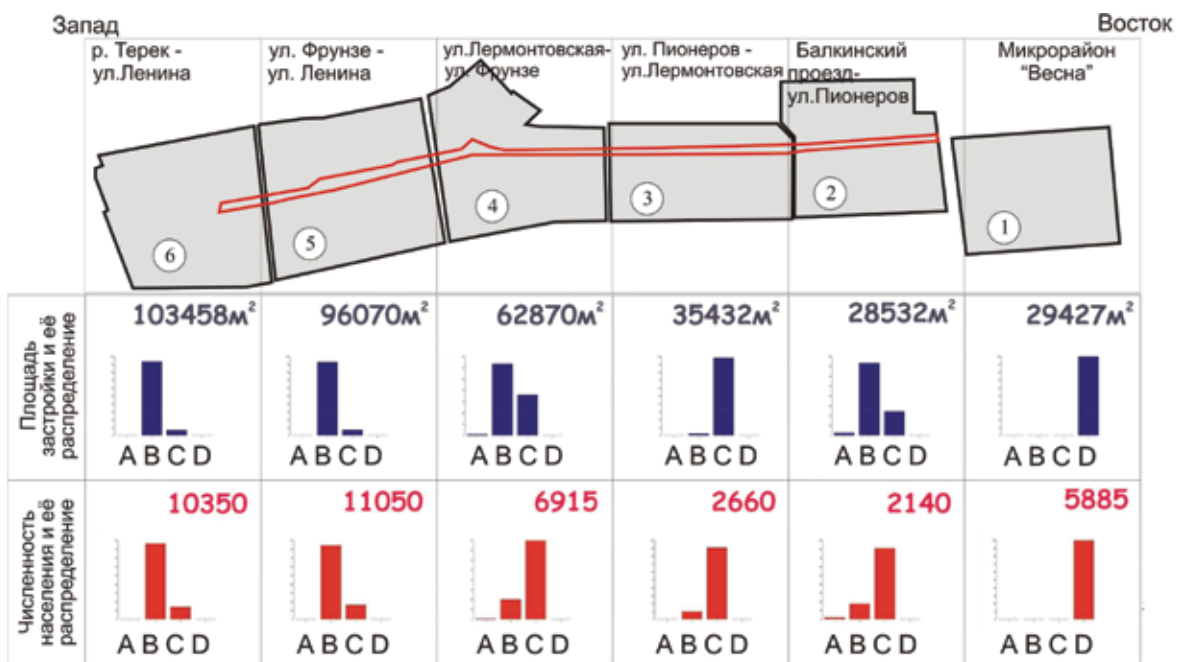


Рисунок 1 – Исходные данные для оценки сейсмического риска

Т а б л и ц а 1 – Сведения по типам зданий и численности населения для расчета риска сейсмических потерь

Наименование участков в районе ул. Куйбышева	Общая площадь, м ²	Площадь домов, м ²	Процент застройки	Конструктивные типы зданий и их площадь, м ²				Численность населения общая, в том числе по отдельным типам зданий-человек				Средняя этажность зданий
				А	В	С	D	А	В	С	D	
Весна	166288	29427	17,7	29427				5885				4
		38		-	-	29427	-	-	-	5885		
Балкинский пр. – ул. Пионеров	177853	28532	16,0	28532				2140				1,5
		178		20908,9	6916,6	-	35	375	1730	-		
Ул. Пионеров – ул. Лермонтовская	159501	35432	22,2	35432				2660				1,5
		149		34728,4	703,6	-	-	2410	250	-		
Ул. Лермонтовская – ул. Фрунзе	194762	62870	32,2	62870				6915				2,2
		107		528,5	39802	22539,5	-	26	1372	5517	-	
Ул. Фрунзе – ул. Ленина	232448	96070	41,3	96070				11050				2,3
		101		-	89192,8	6877,2	-	-	9283	1767	-	
Ул. Ленина – река Терек	207625	103458	49,8	103458				10350				2,0
		89		-	96764,2	6693,8	-	-	8925	1425	-	
Итого	1138477	355789	31,3	355789				39000				2,2
		662		1235	281396,3	43730,7	29427	61	22365	10689	5885	
				8	576	40	38					

центное отношение потерь не зависит от инфляции, позволяет сравнивать результаты оценок по материалам различных стран независимо от соотношения курсов валют.

Для оценки полного ущерба необходимы данные для расчета некоторых видов ущерба:

L_1 – экономический ущерб в результате повреждения и (или) разрушения жилых зданий и сооружений;

L_2 – экономический ущерб в результате повреждения и (или) разрушения городской инфраструктуры (без учета косвенных потерь);

L_3 – экономический ущерб в результате повреждения и (или) разрушения зданий социально-бытового назначения (учреждения управления, здравоохранения и др.);

L_4 – социальный ущерб.

Ущерб от вторичных последствий землетрясений учитывается путем введения специально разработанных повышающих коэффициентов на дополнительные затраты, связанные с ликвидацией последствий от возникновения деформации грунтов, оползней, селей и др., в том числе, связанные с воздействием дополнительных сооружений инженерной защиты от опасных процессов.

Полный экономический ущерб L вычисляется как сумма отдельных видов ущерба для всех зон различной интенсивности [12]:

$$L_i = \sum_{j=1}^j S_{ij} \times V_{ij} \times C_{ij} \quad (3)$$

где S_{ij} – плотность застройки типа j в зоне с интенсивностью i ;

V_{ij} – средняя уязвимость отдельного объекта;

C_{ij} – средняя стоимость отдельного объекта.

Распределение экономических потерь при 8-балльном землетрясении приведено на рисунке 2, из которого видно, что наибольшие экономические потери следует ожидать на участках 2 и 3, что, в первую очередь, обусловлено грунтовыми условиями. В то же время риск экономических потерь для участка 1 – микрорайона «Весна» незначителен, что связано с тем, что застройка данного участка состоит исключительно из зданий типа D. В то же время, учитывая возможные опрокидывания зданий, вызванные разжижением грунтов, экономический риск возрастает в несколько раз и по нашим оценкам составит около 400 млн рублей (повреждение около 30% зданий застройки).

3 Расчет социальных потерь в окрестностях ул. Куйбышева при землетрясениях различной интенсивности

Социальные потери во время землетрясений, в основном, определяются уровнем повреждения зданий и сооружений.

Согласно данным таблицы 2 значения уязвимости для конструктивных ти-

пов зданий, соответственно А, В, С и D при землетрясении 7 баллов: 0,227, 0,057, 0,01, 0,002, при землетрясении 8 баллов: 0,565, 0,227, 0,072, 0,015 и при землетрясении 9 баллов: 0,825, 0,565, 0,227, 0,06.

Принято, что стоимость одного квадратного метра застройки в г. Владикавказе для площади микрорайона Весна составит 40000 руб. и для других участков – 35000 руб.

Для установления полного экономического ущерба, мы должны также учесть потери вследствие повреждения и (или) разрушения городской инфраструктуры.

По экспертной оценке дополнительный ущерб от подсчитанного ранее размера ущерба при семибалльном землетрясении увеличится на 20%, а для восьмибалльного – на 40%.

Таким образом, полный экономический убыток по исследуемой территории при семибалльном землетрясении составит ~168 млн. руб., а восьмибалльным ~743 млн. руб.

Далее рассчитывался ожидаемый экономический ущерб в результате повреждения и разрушения жилых зданий и сооружений, а также объектов социально бытового назначения по каждому участку (табл. 3).

Очень остро стоит также вопрос о пожарах, которые зачастую сопровождают разрушительные землетрясения (например, Токио, 1923 г. и т.д.) из-за вполне закономерных нарушениях газопроводов,

Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов

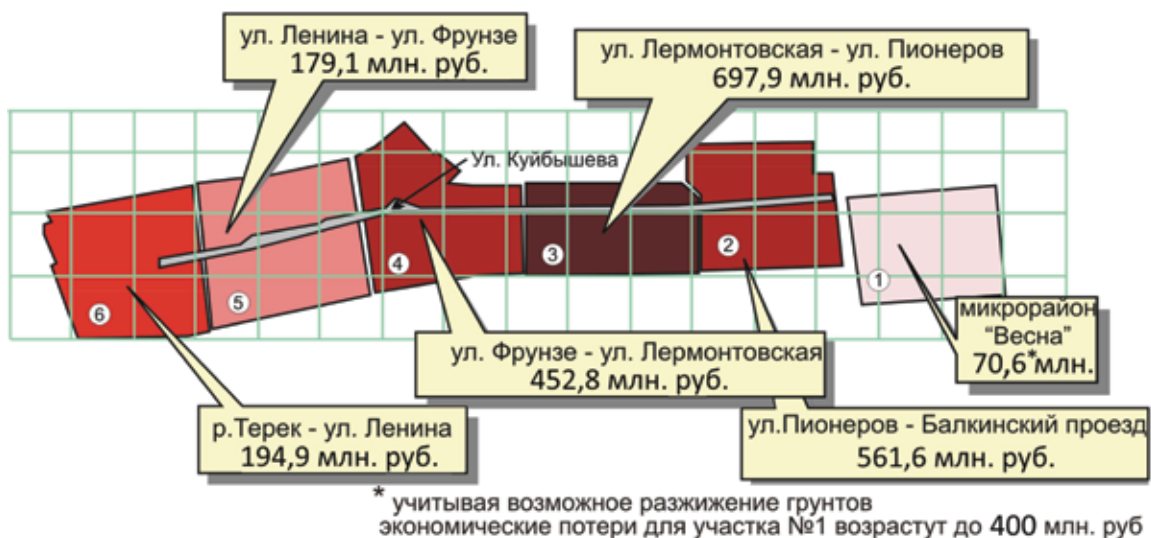


Рисунок 2 – Ожидаемые экономические потери при 8-балльном землетрясении для г. Владикавказ (для средних грунтов)

Т а б л и ц а 2 – Уязвимость V_p , соответствующая четырем типам зданий по MSK-64

Тип зданий	Макросейсмическая интенсивность по шкале MSK-64					
	V	VI	VII	VIII	IX	XII
A	0,001	0,015	0,227	0,565	0,825	1
B	0	0,001	0,057	0,227	0,565	1
C	0	0	0,010	0,072	0,227	1
D	0	0	0,002	0,015	0,06	1

Т а б л и ц а 3 – Ожидаемый экономический ущерб по участкам, прилегающим к ул. Куйбышева

Наименование участков в районе улицы Куйбышева	Размер экономического ущерба, при землетрясении, млн рублей		
	7 баллов	8 баллов	9 баллов
Весна	8,2	17,7	70,6*
Балкинский пр. – ул. Пионеров	61,1	232,8	561,6
Ул. Пионеров – ул. Лермонтовская	70,3	280,2	697,9
Ул. Лермонтовская – ул. Фрунзе	114,1	452,8	
Ул. Фрунзе – ул. Ленина	179,1	722,0	
Ул. Ленина – набережная р. Терек	194,9	784,1	
ИТОГО	139,6	530,7	1330,1

* Экономический ущерб может существенно измениться при вполне возможном явлении разжижении грунта и составить – 400 млн руб.

электросетей и т. д. В последние годы, неоднократно имели место различного рода аварии, которые могут значительно изменить ситуацию на той или иной урбанизированной территории. Например, везде на Кавказе имеются опасные объекты, которые при пренебрежении нормами эксплуатации являются источниками весьма значительных опасностей. Наконец, возвращаясь к нашему региону необходимо отметить, что наличие токсических отходов многочисленных рудников, в том числе, действующих могут создать условия для природно-техногенных катастроф. В нашей работе акцент делался именно на сейсмическую составляющую через его воздействие на здания и сооружения.

Для расчета социальных потерь наряду с вышеприведенными данными таблиц использовались данные статистических соотношений между числом раненых

и погибших для современных зданий (например, таблица 4) и др. [12]. В то же время при расчете социальных потерь для зданий старого типа использовались результаты анализа прошлых землетрясений на Кавказе.

Используя ожидаемые значения процента повреждений по степени повреждений и соответствующие значения коэффициента ущерба для разных уровней интенсивности по шкале MSK-64, числа зданий и сооружений (большинство, отдельные, среднее) различного уровня, были рассчитаны ожидаемые социальные потери населения. Данные эти, несомненно, средние и, к сожалению, могут быть значительно превышены при некачественном строительстве. Везде в наших расчетах предполагается, что качество работ соответствует нормативам (хотя бы на период строительства). Учитывая,

что основная часть уже существующей застройки характеризуется дефицитом сейсмостойкости 1–2 балла и иногда больше, очень важное внимание необходимо уделять качеству работ. В частности, необходимо учитывать также показатели амортизации зданий и сооружений.

4 Общий ущерб

Общий экономический ущерб помимо затрат на восстановление разрушенных и поврежденных зданий и сооружений будет включать следующие виды затрат:

- проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- восстановление объектов коммунально-энергетического комплекса;
- выплаты населению компенсаций за потерю имущества и причиненный ущерб.

Объем завалов в каждой зоне опреде-

Т а б л и ц а 4 – Зависимость потерь населения от типа зданий и уровня воздействия

Воздействие	Тип здания (численность населения, чел.)	Потери населения, чел. (% от общего числа)		
		Легкие ранения	Серьезные ранения	Летальные исходы
VII	A (61)	8 (13,1%)	–	–
VIII		21 (34,4%)	9 (14,8%)	3 (4,9%)
IX		19 (31,1%)	15 (24,6%)	17 (27,9%)
VII	B (22365)	3 (0,01%)	–	–
VIII		674 (3%)	90 (0,4%)	22 (0,1%)
IX		4037 (18,1%)	528 (2,4%)	338 (1,5%)
VII	C (10689)	–	–	–
VIII		18 (0,2%)	–	–
IX		433 (4,1%)	42 (0,4%)	11 (0,1%)
VII	D (5885)	–	–	–
VIII		–	–	–
IX		1 (0,02%)	–	–

Т а б л и ц а 5 – Расчет экономических затрат на разбор завалов

Наименование участков в районе ул. Куйбышева	Объем завалов, тыс. м ³			Затраты на разбор завалов, млн руб.		
	7 баллов	8 баллов	9 баллов	7 баллов	8 баллов	9 баллов
Весна	1,9	46,5	133,8	0,06	1,61	4,65
Балкинский пр. – ул. Пионеров	17,2	46,3	51,4	0,60	1,61	1,78
Ул. Пионеров – ул. Лермонтовская	10,8	39,5	60,9	0,38	1,37	2,11
Ул. Лермонтовская – ул. Фрунзе	1,6	48,1	145,0	0,05	1,67	5,04
Ул. Фрунзе – ул. Ленина	1,3	42,7	159,5	0,05	1,48	5,54
Ул. Ленина – река Терек	0,0	2,8	76,7	0,00	0,10	2,66
ИТОГО:	32,7	225,8	627,3	1,14	7,84	21,78

Таблица 6 – Сравнение объемов полного промышленного производства (млрд юаней RMD) до и после Тангшанского землетрясения 28 июля 1976 года

Год	Тангшан	Тианджин
1975	2,79	14,27
1976	1,93	13,36
1977	1,88	13,58
1978	2,92	15,51

Таблица 7 – Доходы от налогов и финансовые доходы (млрд юаней RMD) до и после Тангшанского землетрясения 28 июля 1976 года

Год	Доходы от промышленных и коммерческих налогов	Финансовые доходы
1975	25,1	30,8
1976	18,0	16,3
1977	14,9	6,5
1978	23,5	21,2
1979	26,4	27,5
1980	28,3	29,1
1981	29,1	32,3

ляется по формуле [13]:

$$W_{зав} = (0,5N_4 + N_5) S_{зд} H_{зд} \gamma, \quad (4)$$

где N_4 и N_5 – количество зданий, получивших соответственно 4 и 5 степень повреждения;

$H_{зд}$ – средняя высота зданий в рассматриваемой зоне, м;

$S_{зд}$ – средняя площадь застройки зданий в рассматриваемой зоне, м²;

γ – коэффициент пустотности завала, принимается равным 0,4 для зданий в жилой и 0,2 для других зон.

В свою очередь количество зданий, получивших j -ю степень повреждения определяется по формуле

$$N_j = \sum_i N_i \cdot P_{ij}, \quad (5)$$

где N_i – число зданий типа i в рассматриваемой зоне;

P_{ij} – вероятность получения зданиями i -го типа j -ой степени повреждения.

Как показывает опыт, вынос завала за контуры зданий при полном разрушении невелик и составляет, например для 9-этажных зданий 7–9 м. Поэтому основные проезды в зонах землетрясений оказываются практически не заваленными. На проезжей части могут оказаться отдельные отлетевшие обломки конструкций зданий. Однако, все вышесказанное справедливо только для случаев разрушения зданий без опрокидывания. В районах с пониженной несущей способностью и большей деформированностью грунтов, возможны случаи разрушения высотных зданий с их опрокидыванием (участок 1 – микрорайон «Весна»).

Расчет объема завалов при различном сценарном землетрясении 7, 8 и 9 баллов для средних грунтовых условий интенсивностью и оценка затрат на разбор завалов приведены в таблице 5. Трудоемкость считалась равной 1,8 чел.·ч/м³.

5 Косвенный экономический ущерб

Землетрясения могут приводить к значительному сокращению и прекращению объемов производства. Даже если предприятие не попадает в зону максимального воздействия, нарушения инфраструктуры, связанной с электрическими сетями, авто- и железнодорожным транспортом вызывают ущерб, вызванный простоем оборудования. В случаях, когда предприятие находится в эпицентральной зоне, убытки могут быть значительными, требующими несколько лет на выход на первоначальный уровень.

Примером является Таншаньское землетрясение 28 июля 1976 года, приведшее к полной или частичной остановке производства в городах Таншан и Тианджин. Производство в этих двух городах было восстановлено только через два года (таблица 6) [14].

При Тангшанском землетрясении около 17,2% персонала коммерческого сектора погибло, и 33,1% товаров было уничтожено. Потребовалось восстановление 97% коммерческих зданий. Налоговые сборы вышли на исходный уровень только по истечении четырех лет, а финансовые доходы – шести (таблица 7) [14].

Землетрясение не только разрушило экономическую деятельность на пострадавшей территории, но также в экономически связанных городах и территориях. Город Тангшан называют «угольной столицей» Китая, в нем производится более 5% объема производимого в Китае угля. Он снабжает многие крупные металлургические заводы, крупные города Пекин и Тяньцзинь, а также дает экспорт в Японию и Корею. Тангшан снабжает электроэнергией Пекин и весь Северный Китай, поэтому землетрясение вызвало спад производства в Пекине и Северном Китае. Землетрясение 1976 г. разрушило предприятия химической промышленности, которые снабжали сырьем более 600 предприятий по всему Китаю. Имеют место и другие ущербы [13].

6 Обсуждение результатов

На основе анализа результатов геологических изысканий по ул. Куйбышева на территории г. Владикавказа выделены шесть кварталов с различными грунтовыми условиями, далее, используя способ экспертных оценок, были реализованы рейтинговые оценки грунтов оснований застройки выделенных кварталов. Согласно данным сейсмического микрозонирования расчетная интенсивность для указанных кварталов варьирует в пределах 7–9 баллов. Анализ данных показывает, что, при этом, отчетливо прослеживается связь между грунтовыми условиями и уровнем уязвимости ис-

Социальные потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов

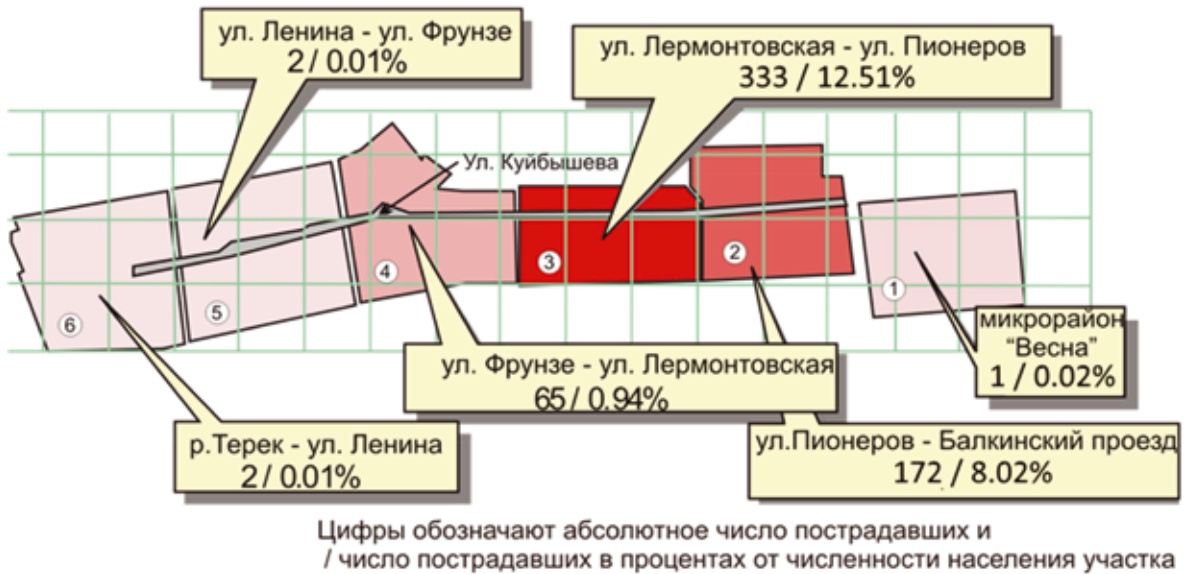


Рисунок 3 – Ожидаемые социальные потери при 8-балльном землетрясении для г. Владикавказа (для средних грунтов)

следуемых кварталов. Разработанный подход, несомненно, должен быть учтен при оценках сейсмической уязвимости и соответствующего риска территории, т.е. при оценках социальных и экономических потерь. На исследуемой территории выделены несколько типов зданий (А, В, С, D) и дана их классификация по уязвимости к сейсмическим воздействиям. Использование рейтинговых оценок создает условия для перехода от традиционной балльности к другим коррелятивным оценкам. Это предполагает использование корреляционных связей между результатами экспертных оценок и расчетным ускорением грунтов оснований существующей застройки.

Анализ результатов расчетов показывает, что в зависимости от типа зданий уязвимость изменяется в широких пределах. Можно хорошо видеть, что современная застройка микрорайона «Весна» резко отличается минимальностью прогнозируемой уязвимости. Здесь она практически нулевая при 6–9 балльном воздействии. С другой стороны, анализ инструментальных записей станций, расположенных в различных грунтовых условиях, показывает, что указанный район характеризуется значительной сейсмической опасностью из-за грунтов оснований в виде мощной толщи (20 м и больше) глинистых грунтов текучей консистенции.

Результаты анализа тяжелых по-

следствий землетрясений показывают, что плиты оснований, хотя и препятствуют воздействию неравномерных осадков на целостность зданий, при слабых грунтах оснований делают их весьма уязвимыми к опрокидыванию. Примеры таких аварий хорошо известны (Ниигата, 1964). Вообще вопрос традиционного повышения интенсивности участка с целью их усиления все еще спорный, т.к. даже секундные провисания отдельных частей тяжелого здания приведут к их значительным повреждениям. Некоторые авторы полагают, что здания не рекомендуются усиливать и считают, что это даже вредно т.к. на слабых грунтах тяжелое здание может просто «утонуть» в грунте. Поэтому здесь необходима реализация специальных мероприятий по усилению собственно грунтов.

При реализации сейсмического воздействия ожидаемого уровня, а это составляет, как отмечалось выше, магнитуду $M = 7$ с интенсивностью землетрясения равной 9–10 баллам в эпицентре, генерируемое непосредственно в южной части города землетрясение, почти не затухая, придет на исследуемую площадку с той же интенсивностью.

Учитывая, что разжижение грунта, как правило, имеет место для обводненных грунтов уже с 8-балльной интенсивностью, весьма реальным на площадке «Весна» (рисунок 4) представляется впол-

не логичным проявление сейсмического события подобное Ниигатскому (рисунок 5). Необходимо отметить, что при Ниигатском землетрясении (Япония, 1964), весьма добротные дома просто легли на грунт почти целыми. При минимальных социальных потерях экономический ущерб был весьма велик. Для участка №1 («Весна») представленного грунтовой толщей, которая содержит слой грунта текучей консистенции, экономический ущерб априори увеличится в 2,5 раза и, согласно расчетам, составит 400 млн руб. (рисунок 5). Благодаря весьма высокому качеству зданий, кстати, рассчитанных на 8 баллов, социальные потери здесь будут минимальны. Социальные потери во время землетрясений, в основном, определяются уровнем повреждения зданий и сооружений. В то же время т.н. вторичные последствия в виде оползней, разжижения, грунтов, наводнения могут стать при определенном стечении негативных факторов определяющими и аномально высокими. Как уже отмечалось выше необходимо отметить проблему пожаров, которые зачастую сопровождают разрушительные землетрясения из-за вполне закономерных нарушений газопроводов, электросетей и т.д.

Заключение

1. Реализована оценка сейсмического риска современной урбанизированной



Рисунок 4 – Микрорайон «Весна», г. Владикавказ, $M_{max} = 7,1$
(Фото: Т.В. Заалишвили)



Рисунок 5 – Разжижение грунтов 16 июня 1964 года, Ниигата,
Япония, $M_{max} = 7,5$ (Фото: Joseph Penzien)

территории на примере территории ул. Куйбышева и прилегающих кварталов. Являясь частью старой центральной части города, рассматриваемая улица включает почти все типы зданий и сооружений, распространенных в городе и все многообразие грунтовых условий.

2. Реализована оценка ожидаемого экономического ущерба и социальных потерь, обусловленных сейсмическим воздействием на застройку. Социальные потери во время землетрясений, в основном, определяются уровнем повреждения зданий и сооружений. В то же время т.н. вторичные последствия в виде оползней, разжижения, грунтов, наводнения могут стать при определенном стечении негативных факторов определяющими и аномально высокими.

3. Рассмотрены основные показатели уязвимости зданий и сооружений, факторы, формирующие прямой и косвенный ущерб при землетрясениях. Функции уязвимости позволяют провести качественную оценку риска, определить уровень возможной повреждаемости данного типа сооружений, а, следовательно, и оценить потери, при землетрясении заданной интенсивности.

4. Приведена классификация застройки по ул. Куйбышева по сейсмическому классу уязвимости.

5. Исследуемый район был условно разделен на шесть кварталов. Для формирования рейтинговой оценки выделенных кварталов учитывался целый ряд факторов (тип грунтов, мощность слоев, уровни грунтовых вод, рельеф, наличие опасных процессов).

6. Создана база данных застройки

по ул. Куйбышева. Эта база включает в себя всю необходимую информацию по зданиям, расположенным по ул. Куйбышева и в прилегающих кварталах.

7. Рассмотрены особенности построения модели сейсмической уязвимости градостроительных систем.

Библиография

1. Баласанян С. Ю., Назаретян С. Н., Амирбебян В. С. *Сейсмическая защита и ее организация*. – Гюмри: Эльдорадо. 2004. 436 с.
2. Balassanian S., Manukian A., *Seismic risk on the territory of Yerevan, Armenia, NATO Advanced research workshop, October 8–11, 1993, Istanbul, Turkey*.
3. Bonnin J., Zaalishvili V. *International cooperation management of seismic hazard in Caucasus./Труды Международной конференции «Информационные технологии и системы: наука и практика»*. – Владикавказ: 2002. С. 479–482.
4. Гогмачадзе С. А., Заалишвили З. В., Отинишвили М. Г., Шенгелия Н. О. *Метод рейтинговой оценки территории для целей страхования./Теория сооружений и сейсмостойкость. Сб. трудов ИСМиС АНГ*. – Тбилиси: 2003. № 3. С. 46.
5. *Сейсмическое микрорайонирование территории Орджоникидзе. Машинопись. Труды Института Строительной Механики и сейсмостойкости им. К. С. Завриева АН Грузии*. 1970. 182 с.
6. Заалишвили В. Б. *Физические основы сейсмического микрорайонирования*. – М.: ОИФЗ РАН. 2000. 367 с.
7. Заалишвили В. Б. *Сейсмический риск в оценке направлений реконструкции исторического центра города./Теория сооружений и сейсмостойкость. ИСМИС им.*

К. С. Завриева АН Грузии. – Тбилиси: 2000. № 1. С. 189–194.

8. Zaalishvili V. B., Chachava N. T., Gogmachadze S. A. *Seismic risk assessment methods in old Tbilisi. Natural Disasters designing for safety. Proceedings of UIA work programmed conference. UIA-Chamber of Architects of Turkey. Istanbul. 2001, pp. 81–88*.
9. Bender, B. and D. M. Perkins (1987). *SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. US Geological Survey Bulletin 1772. 48 p.*
10. Рейснер Г. И., Иогансон Л. И. *Сейсмический потенциал Западной России, других стран СНГ и Балтии./Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии*. – М.: ОИФЗ РАН. 1993. С. 186–195.
11. Рогожин Е. А. *Современная геодинамика и потенциальные очаги землетрясений кавказского региона. Современные математические и геологические модели природной среды. Геофизика и математика в XXI веке*. – М.: ОИФЗ РАН. 2002. С. 244–254.
12. Соболев Г. А. (отв. ред.). *Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. Пособие для должностных лиц. ОИФЗ РАН, институт сейсмологии*. – М.: ОИФЗ РАН. 1997. 26 с.
13. Алехин В. И., Демидов К. А., Тонких Г. П. *Типовые сценарии возможных последствий землетрясений в гарнизонах и на объектах Вооруженных сил Российской Федерации с учетом вторичных поражающих факторов*. – Москва: Минобороны. 2005. 136 с.
14. Lai Yuchang and Li Kemon *The economic influences of the earthquakes in cities, Earthquake strategy for cities, Earthquake Press, Beijing, 1991, pp. 308–319*.

eng

Zaalishvili V.B., Akbiev R.T., Burdzieva O.G.

SEISMIC RISK OF A MODERN CITY UNDER INTENSIVE LOADS

The aim of the work was to develop and implement a methodology for the expected seismic risk assessment of a modern city on the example of a separate designated area of the Vladikavkaz city. The Kuibyshev Street was chosen as such an area. The choice of this street can be explained by the fact that it is characterized by the soil conditions typical for the soil stratum that form the entire territory of the city. At the same time, building stock on Kuibyshev Street includes almost all types of buildings that form the urban environment.

Based on the differentiation of ground conditions, the street was conditionally divided into 6 sections. Further the intensity increments relative to reference soils were calculated, i. e. seismic microzonation (SMZ) work was carried out on every site. At the same time the intensity of the sites varied within 7–9 points. The each type of a building is characterized by a certain vulnerability to a particular level of seismic impact. At the same time, consideration of specific types of soils and types of building stock with estimated intensities and vulnerabilities of building types caused a different level of expected economic losses. Further, on the basis of taking into account the expected damage in the building stock of Kuibyshev Street the expected social losses were calculated.

Keywords: seismic hazard, detailed seismic zoning, seismic microzonation, vulnerability of the building stock, classification of building types, intensity, soil conditions, seismic risk, economic and social losses

References

1. Balasanyan S. YU., Nazaretyan S. N., Amirbekyan V. S. *Seismicheskaya zashchita i ee organizatsiya*. – Gyumri: El'dorado. 2004. 436 p. (in Russian)
2. Balassanian S., Manukian A., *Seismic risk on the territory of Erevan, Armenia, NATO Advanced research workshop, October 8–11, 1993, Istanbul, Turkey.*
3. Bonnin J., Zaalishvili V. *International cooperation management of seismic hazard in Caucasus./Trudy Mezhdunarodnoj konferencii «Informacionnye tekhnologii i sistemy: nauka i praktika»*. – Vladikavkaz: 2002. Pp. 479–482. (in Russian)
4. Gogmachadze S. A., Zaalishvili Z. V., Otinashvili M. G., Shengeliya N. O. *Metod rejtingovoj ocenki territorii dlya celej strahovaniya./Teoriya sooruzhenij i sejsmostojkost». Sb. trudov ISMiS ANG*. – Tbilisi: 2003. № 3. Pp. 46. (in Russian)
5. *Sejsmicheskoe mikrorajonirovanie territorii Ordzhonikidze. Mashinopis». Trudy Instituta Stroitel'noj Mekhaniki i sejsmostojkosti im. K. S. Zavrivieva AN Gruzii*. 1970. 182 p. (in Russian)
6. Zaalishvili V. B. *Fizicheskie osnovy sejsmicheskogo mikrorajonirovaniya*. – M.: OIFZ RAN. 2000. 367 p. (in Russian)
7. Zaalishvili V. B. *Sejsmicheskij risk v ocenke napravlenij rekonstrukcii istoricheskogo centra goroda./Teoriya sooruzhenij i sejsmostojkost». ISMIS im. K. S. Zavrivieva AN Gruzii*. – Tbilisi: 2000. № 1. Pp. 189–194. (in Russian)
8. Zaalishvili V. B., Chachava N. T., Gogmachadze S. A. *Seismic risk assessment methods in old Tbilisi. Natural Disasters designing for safety. Proceedings of UIA work programmed conference. UIA-Chamber of Architects of Turkey. Istanbul. 2001, pp. 81–88.*
9. Bender, B. and D. M. Perkins (1987). *SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. US Geological Survey Bulletin 1772. 48 p.*
10. Rejsner G. I., Ioganson L. I. *Sejsmicheskij potencial Zapadnoj Rossii, drugih stran SNG i Baltii./Sejsmichnost» i sejsmicheskoe rajonirovanie Severnoj Evrazii*. – M.: OIFZ RAN. 1993. Pp. 186–195. (in Russian)
11. Rogozhin E. A. *Sovremennaya geodinamika i potencialnye ochagi zemletryasenij kavkazskogo regiona. Sovremennye matematicheskie i geologicheskie modeli prirodnoj sredy. Geofizika i matematika v XXI veke*. – M.: OIFZ RAN. 2002. Pp. 244–254. (in Russian)
12. Sobolev G. A. (otv. red.). *Ocenka sejsmicheskoi opasnosti i sejsmicheskogo riska. Posobie dlya dolznostnyh lic. OIFZ RAN, institut sejsmologii*. – M.: OIFZ RAN. 1997. 26 p. (in Russian)
13. Alekhin V. I., Demidov K. A., Tonkih G. P. *Tipovye scenarii vozmozhnyh posledstvij zemletryasenij v garnizonah i na ob'ektah Vooruzhennyh sil Rossijskoj Federacii s uchetom vtorichnyh porazhayushchih faktorov*. – Moskva: Minoborony. 2005. 136 p. (in Russian)
14. Lai Yuchang and Li Kemon *The economic influences of the earthquakes in cities, Earthquake strategy for cities, Earthquake Press, Beijing, 1991, pp. 308–319.*