

УДК 550.348.422

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ КАК ФАКТОРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ
Г. ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО

Л. А. Рыбалкина

*Камчатский государственный педагогический университет, Петропавловск-
Камчатский, 683032, e-mail: luda.kgpu@kamchatka.ru*

Длительное время градостроительные решения и работы по планированию предупреждения последствий природных катастроф основывались в основном на понятии опасности. Такой подход не позволял в полной мере учитывать экономические и урбанистические по-

следствия природных катастроф. Для этого было введено понятие риска, как опасности, нормированной на величину возможного экономического ущерба. Используют понятия о природном риске, о риске отдельных природных процессов, о сейсмическом риске в особенности. Во всех этих случаях в структуру факторов риска входят не только те природные особенности и явления, которые определяют уровень опасности, но и те, которые влияют на экономические и урбанистические (строительные, транспортные, социальные и т.д.) последствия природных катастроф. Так, например, особенности рельефа не только влияют на вероятность вторичных опасностей при землетрясении, но в еще большей степени – на возможность реализации спасательных мероприятий, что определяет уровень риска.

Таким образом, под естественными факторами сейсмического риска мы понимаем сочетание природных факторов сейсмической опасности и сейсмической уязвимости городских инфраструктур и сооружений, расположенных на изучаемой территории.

Последствия сильных землетрясений являются интегральным эффектом влияния нескольких факторов, которые не обязательно просто суммируются между собой. Возможны и нелинейные связи (особенно в зонах разломов), среди которых сила самих толчков далеко не всегда играет определяющую роль. Основные разрушения несут, как правило, вторичные явления и процессы, масштабы которых зависят от конкретных природных ситуаций и условий, созданных человеческой деятельностью. К таким условиям можно отнести сейсмогеологические процессы, концентрирующиеся в зонах активных разломов. Значительная часть разломов, закартированных на территории города (рис.1), являются пассивными, и в их пределах не проявлены процессы, относящиеся к факторам сейсмического риска.

Активными в сейсмогеологическом отношении разломами (далее – активными разломами) будем называть такие разномасштабные дизъюнктивные тектонические дислокации, в пределах которых наблюдаются первичные и вторичные по отношению к сейсмическому событию опасные природные процессы, явления и условия, которые приводят к увеличению уровня сейсмического риска по сравнению с фоновыми его значениями (вне разлома). В таком понимании тектонически активные разломы (в пределах которых происходят современные тектонические подвижки и смещения), являются одной из разновидностей сейсмогеологически активных разломов.

На территории г. Петропавловска-Камчатского по данным комплексных исследований (морфоструктурный анализ, изучение материалов дистанционных съемок, геодезические и геофизические наблюдения) установлено, что некоторые разломы плиоцен-плейстоценового возраста продолжают активизироваться в голоценовую эпоху. Активизация выражена в вертикальном смещении (различных скоростях движений) отдельных блоков относительно друг друга вдоль прослеженных на некоторых участках города сместителей разрывных нарушений. Относительные амплитуды голоценовых движений оцениваются 5-10 м; что соответ-

ствуется градиенту скоростей от 0.005 до 0.008 м/км/год¹. Однако такие движения установлены не для всех разломных зон, тогда как повреждаемость зданий и сооружений характерна также для разломов, не характеризующихся вертикальными перемещениями, либо для которых типичны деформации горизонтального растяжения².

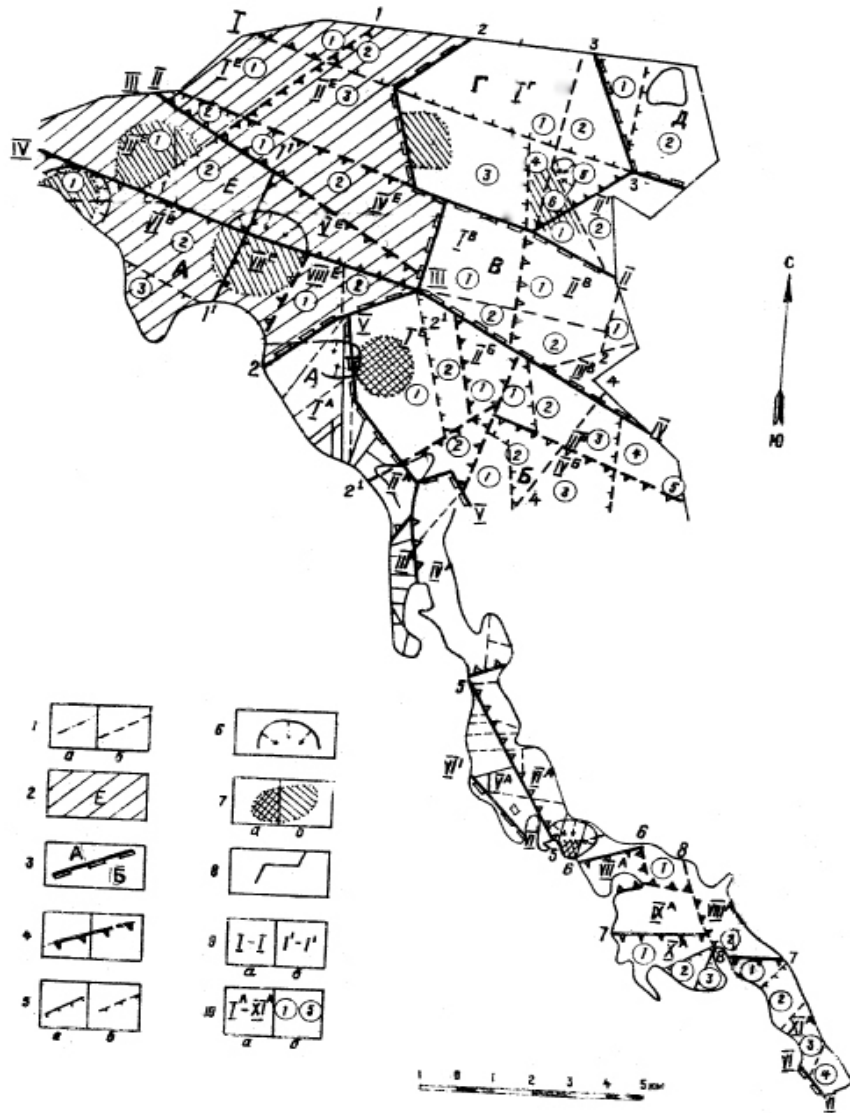


Рис 1. Схема разрывной тектоники г. Петропавловска-Камчатского [1] М-Б 1:50 000 Составили: Кудя Г.В., Дмитриев В.Д., Соловьев Е.Л.

1. Тектонические разломы: а) установленные, б) предполагаемые; 2. Наложенная грабеновая зона; 3. Границы тектонических зон; 4. Границы тектонических блоков: а) установленные, б) предполагаемые; 5. Границы тектонических участков: а) смещения преимущественно сбросового характера, б) не установленный характер смещения; 6. Сейсмоструктурные структуры; 7. Тектонические структуры: а) куполовидные поднятия, б) опускания просадочного типа; 8. Границы района работ; 9. Разломы тектонических ярусов: а) нижний структурный ярус, б) средний структурный ярус; 10. Номера блоков - а, номера внутриблоковых участков - б.

¹ Кудя Г.В., Соловьев Л.Л., Дмитриев В.Д. и др. Отчет по сейсмическому микрорайонированию территории г. Петропавловска-Камчатского. Часть III. Том I. КамчатГИСИЗ, 1974 г.

² Делемень И.Ф., Константинова Т.Г., Уткин И.С., Уткина Л.И. Отчет по теме «Оценка повреждаемости зданий, экономических и людских потерь при возможном 8- и 9-ти балльном землетрясении на наиболее опасных участках г. Петропавловска-Камчатского с учетом инженерно-геологических и сейсмоструктурных условий». П.-Камчатский: ИВ ДВО РАН. 1996 г.

С геомеханической точки зрения, все разломообразующие движения в хрупкой упругой среде земной коры можно разделить на два типа: растяжения и сдвиги. К сдвиговым подвижкам можно отнести любые движения, происходящие вследствие деятельности нагрузок, при которых векторы сил расположены в плоскости сместителя или параллельно ему (сдвиги, сбросы, взбросы, надвиги – разломы I типа). К разрывообразующим движениям растяжения можно отнести те деформации, при которых растягивающие усилия действуют вкрест плоскости сместителя (раздвиги, рифты, грабены, зоны растяжения – разломы II типа). На территории областного центра развиты оба типа разломов. При этом не удалось установить наличия разломов, связанных с действием сжимающих усилий, действующих вкрест плоскости сместителей (рампы и зоны сжатия – разломы III типа). Наличие системы разломов, относящихся только к первым двум типам, свидетельствует о том, что парагенезис разрывных нарушений связан с развитием региональной зоны широкого сдвигания в условиях регионального сжатия, при этом разрывы растяжения (грабены и локальные зоны растяжения) представляют собой элементы строения сдвиговых зон, а также системы зон растяжения над локальными источниками деформация, расположенных на глубине в недрах коры.

В каждой из разломных зон перечисленных типов опасные процессы проявляются по-разному. К тому же разломы имеют индивидуальные различия в интенсивности протекания таких процессов и проявленности неблагоприятных условий, вызванных различным сочетанием следующих факторов:

1. Развитием специфических геоморфологических условий, присущих конкретным разломным зонам,
2. Особенности осадконакопления и грунтовыми условиями;
3. Гидрогеологическими особенностями;
4. Характером геофизических полей;
5. Степенью неоднородности и анизотропии в строения разлома;
6. Строением скального субстрата;
7. Проявленностью новейших и современных движений;
8. Морфологией (формой и строением) разлома, его размерами и пространственной ориентировкой.

Степень выраженности активной разломной тектоники определяется тем, в каком из тектонических ярусов развиты эти дизъюнктивные нарушения. На территории города выделяются 3 структурных яруса, разделенные угловыми несогласиями, причем каждому структурному ярусу соответствует свой тектонический план разрывных нарушений.

Нижний структурный ярус представлен породами мелового возраста, которые в тектонических блоках залегают моноклинально с падением на юг и юго-запад. В строении этого

яруса преобладают пассивные разрывы I типа. Однако на них наложены четвертичные разрывы II типа, образование которых связано с потерей гравитационной устойчивости горных массивов при формировании низкогорного рельефа блокового типа. Большая часть разрывов, рассекающих породы этого яруса, прослеживаются через всю площадь города в северо-западном направлении. Такие разломы хорошо выражены в современном рельефе склонов горстовых поднятий, сложенных породами мелового возраста, и слабо выражены (или совсем не выражены) в рельефе четвертичных пирокластических отложений. Помимо разрывных нарушений северо-западного простирания, которые явно проявлены в строении выходов пород мелового яруса на поверхность, предполагается, что в строении сети дизъюнктивов, развитых в породах, слагающих верхний ярус в северной части города, проявляется (просвечивает) блоковая структура нижнего яруса (ограничивающие эти блоки разрывы показаны на рис. 1 №№ I, II, III, IV, V, VI).

Средний структурный ярус представлен отложениями алнейской серии верхнемиоцен-плиоценового возраста. Преобладают пассивные разрывы и разломы, однако отложения данного яруса представляют собой скальный субстрат активных в сейсмогеологическом отношении разломов I и II типа, которые на территории города развиты в породах верхнего структурного яруса и имеют преобладающее северо-восточное направление. В ряде случаев они, по-видимому, имеют унаследованный характер и развивались по оперяющим разрывам более древних разломов северо-западного простирания, в результате чего происходят смещения их осевых линий в плане. Местоположение разломов на карте обозначено №№ 1, 1¹, 2, 2¹, 3, 4, 5, 6, 7, 8 на рис. 1.

Верхний структурный ярус представлен рыхлыми и полуконсолированными вулканогенными образованиями четвертичного возраста, выполняющими Авачинскую вулканотектоническую депрессию. Вулканогенные образования прорваны дайками, экструзиями и субвулканическими андезитами, нередко формирующими радиально-концентрические системы рвущих тел и купольные структуры (г. Мишенная и др.). Разломы верхнего структурного яруса в подавляющем большинстве хорошо выражены в современном рельефе в виде уступов и узких прямолинейных оврагов различного направления. Нередко по ним наблюдаются выходы нисходящих источников.

При анализе взаимного местоположения разломов на территории г. Петропавловска-Камчатского мы пришли к выводу, что определяющим мотивом новейшего дизъюнктивного плана территории является сочетание чередующихся горстов и грабенов северо-западного и северо-восточного простирания (разломов II типа). Горсты представляют собой широкие (от 1 до 3-4 км) плосковершинные поднятия с достаточно крутыми склонами (от 25° до 45°, местами более). Грабены представляют собой широкие (от первых сотен метров до 1, реже 1,5-2

км) долины с высотой склонов от 50 до 250 м. Днища долин выполнены полифациальными рыхлыми отложениями (рис.2). На основе сейсмогеологического изучения строения грабенов можно сделать вывод, что при сильных (8-9 баллов) землетрясениях для этих зон возможны следующие опасные явления: разжижение, быстрые изменения уровня грунтовых вод, неоднородные деформации и просадки, образование суффозионных воронок, для гор-



Рис. 2 Схема распределения типов грунтов на территории г. Петропавловска-Камчатского[3]:

1 – скальные массивы с крутыми склонами; 2 – скальные породы с пологими склонами; 3 – пирокластические отложения мощностью более 100 м при глубине залегания подземных вод более 6 м; 4 – пирокластические отложения мощностью от 50 до 100 м при глубине залегания подземных вод от 3 до 6 м; 5 – пирокластические отложения мощностью более 100 м при глубине залегания подземных вод от 3 до 6 м; 6 – аллювиальные отложения; 7 – элювиально-делювиальные отложения высокой плотности; 8 - элювиально-делювиальные отложения средней плотности; 9 - элювиально-делювиальные отложения рыхлой плотности; 10 – пирокластические отложения мощностью более 100 м при глубине залегания подземных вод до 3 м; 11 – пирокластические отложения мощностью до 50 м при глубине залегания подземных вод до 3 м; 12 - элювиально-делювиальные отложения; 13 – линзы глинистых текущих грунтов; 14 – насыпные грунты; 15 - намывные песчано-глинистые и илистые грунты; 16 – морские отложения.

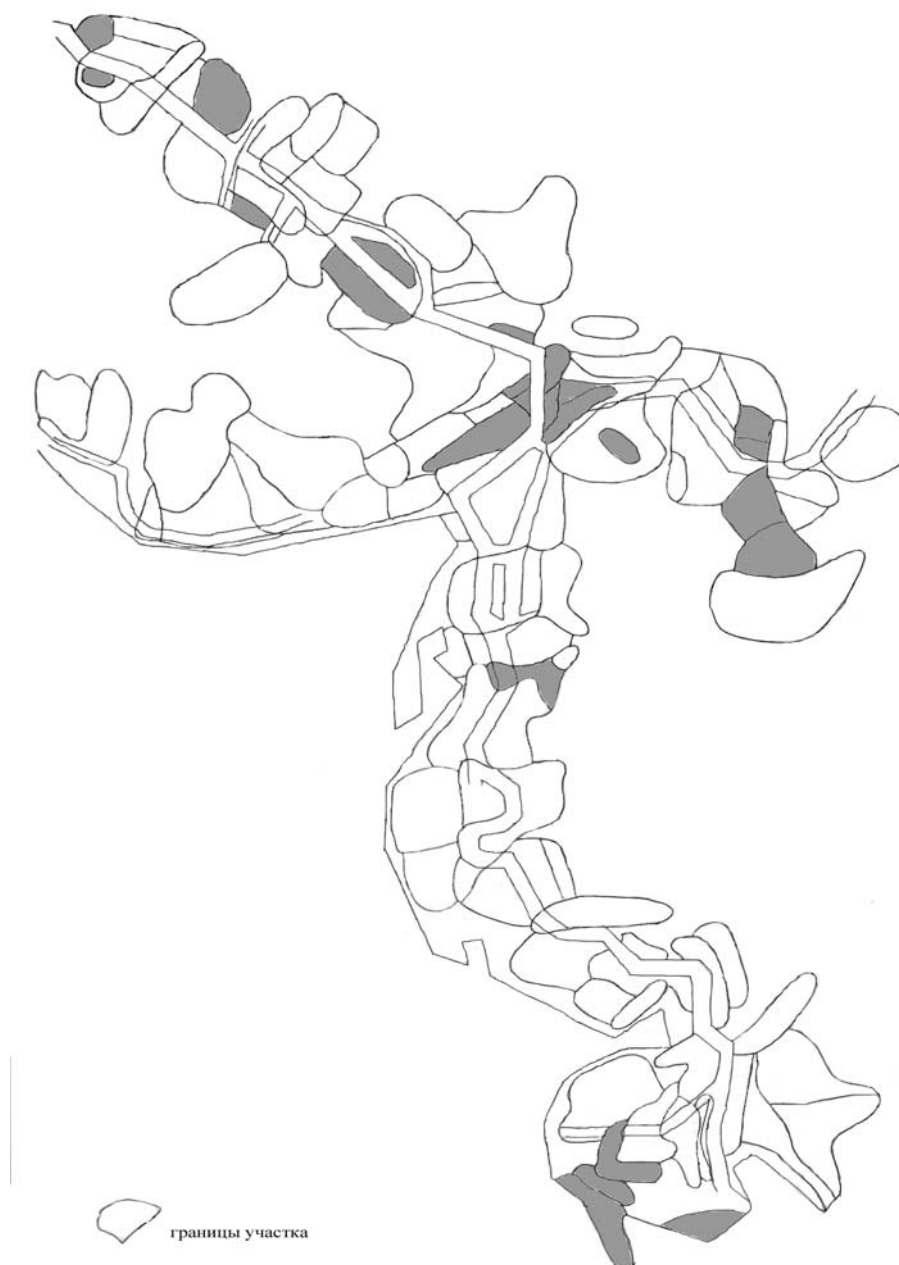


Рис. 3. Схема интенсивности повреждения зданий на территории г. Петропавловска-Камчатского в результате землетрясения 24 (25) ноября 1971 г [3]. Закрашены участки с повышенной интенсивностью (более 7 баллов).

стов и особенно их склонов – сейсмогенные рвы, сейсмогенные разрывы, песчаные фонтаны, сейсмические просадки и т.д. Особенно велика вероятность образования на ослабленных склонах горстовых поднятий крупных обвалов и оползней.

Для оценки интегрального воздействия опасных процессов в зонах разломов на устойчивость зданий и сооружений (по сравнению с фоновыми вне разломов) было выполнено сопоставление схемы разломов (рис.1) с данными макросейсмического обследования последствий землетрясения 24 (25) ноября 1971 г. на территории г. Петропавловска-Камчатского (рис. 3). Такое сопоставление позволяет сделать вывод, что интенсивность повреждаемости и макросейсмические воздействия на здания и сооружения в зонах разлома в

среднем была выше на $0,2 \div 1,1$ балла по сравнению с фоновыми для однородных (по типам грунтов и типам зданий) условий.

Рассмотрим в качестве примера систему сопряженных сбросов северо-западного простирания (340°), ограничивающих с востока грабен, расположенный в акватории Авачинской бухты, на суше продолжениями которого являются грабены бухты Раковой и Петропавловской губы. Особенности рельефа (сбросовая лестница) предопределили здесь выбор расположения основных транспортных магистралей участка (ул. Океанская, пер. Садовый и др.). На рис. 1 показаны наиболее крупные сбросы №№ 5, 6. На данном участке повреждаемость зданий составила 6,7-6,8 баллов, тогда как на смежных участках – 6,3-6,6.

Особенность разломов II типа является то, что в отличие от горстов и грабенов, зоны этих разломов имеют небольшую мощность (и ширину в плане), при сопоставимой длине. Преобладающими в пределах этих зон являются опасные сейсмогеологические процессы склонового типа, а также связанные с ними неблагоприятные грунтовые условия.

В частности, массив г. Мишенной по результатам сейсмического микрорайонирования относится к территориям с благоприятными для строительства участкам по своим по грунтовым условиям. Однако в зоне разлома 2¹ (протягивается от Комсомольской площади вдоль ул. Ключевской до берега Авачинской бухты), степень повреждаемости зданий составила в среднем 7 баллов, а на окружающей территории – 6.

Таким образом, можно сделать вывод, что существует связь между факторами, контролирующими локализацию опасных процессов в зонах разломов, и повышенной повреждаемостью зданий и сооружений на таких участках. Задачей ближайшего будущего должно стать изучение конкретных механизмов такой связи. Кроме того, следует обратить внимание на несоответствие выявляемой геологическими данными скорости деформаций по разломам и практически полного отсутствия таковых при исторически наблюдавшихся в городе сильных сейсмических событиях. Возможны две альтернативы: 1) существенные перемещения (5-10 м в течение голоцена) – результат единичных, но значительных подвижек при одном-двух сильных сейсмических событиях при полной стабильности разрывов в остальное время; 2) возможность коровых сейсмических событий в прошлом, когда эпицентральная зона располагалась непосредственно в изучаемом районе или ближайших окрестностях.

Изучение этих альтернатив представляется чрезвычайно важным, т.к. имеет первостепенное значение для оценки сейсмического риска на территории г. Петропавловска-Камчатского.

Автор благодарит И.Ф. Делемена за помощь в подготовке работы, а А.В. Викулина, Г.И. Аносова и Ю.Д. Матвиенко – за полезные обсуждения и консультации.

Работа выполнена по программе и финансовой поддержке проекта ФЦП «Интеграция науки высшего образования России на 2002-2006 годы» № Э0334 «Развитие сети полигонов для проведения совместных экспедиционных исследований вулканических, сейсмических процессов и тепломассопереноса на современных гидротермальных системах Камчатки».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Делемень И.Ф., Константинова Т.Г., Уткин И.С., Уткина Л.И. Отчет по теме «Оценка повреждаемости зданий, экономических и людских потерь при возможном 8- и 9-ти балльном землетрясении на наиболее опасных участках г. Петропавловска-Камчатского с учетом инженерно-геологических и сеймотектонических условий». Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН. 1996 г.
2. Куда Г.В., Соловьев Л.Л., Дмитриев В.Д. и др. Отчет по сейсмическому микрорайонированию территории г. Петропавловска-Камчатского. Часть III. Том I. КамчатГИСИЗ, 1974 г.
3. Сильные камчатские землетрясения 1971 года. М.: ДВНЦ РАН СССР, 1975. 154 с.