

УДК 550+626

## ВТОРИЧНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ И ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

(НА ПРИМЕРЕ г. ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО)

**Т.Г. Константинова, И.Ф. Делемень, Г.И. Аносов**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Ущерб от землетрясений по оценкам ЮНЕСКО исчисляется сотнями тысяч и даже миллионами человеческих жизней, а суммарный экономический ущерб составляет миллиарды долларов. За последние 500 лет в результате землетрясений погибло более 3 миллионов человек, в том числе в 1976 г. в Китае – более 240 тысяч, в Спитаке и Ленинакане в 1988 г. – более 25 тысяч, в Нефтегорске – свыше 2 тысяч (2/3 от проживавших в нем). Анализ последствий сильных и катастрофических землетрясений показывает, что большая часть повреждений и разрушений зданий и сооружений происходит из-за вторичных процессов, вызванных этими событиями, и особенно склоновыми процессами, в первую очередь – оползневыми.

Длительное время на оползневую опасность на территории г. Петропавловска-Камчатского не обращали особого внимания, хотя при землетрясении 1959 г. оползневые явления наблюдались повсеместно на береговой черте Петропавловска, особенно на тех участках, территории которых образованы насыпными грунтами. Оползневые явления происходили также на склонах сопки Мишенной, которая до настоящего времени рассматривается как наиболее безопасная в сейсмическом отношении часть города. Здесь при землетрясении 1959 г. крыльцо, расположенное перед зданием одного из детских садов, сместилось вниз по склону на 1.2 м.

9-10 ноября 1995 г. на улице Рябиковской на участке склона сошел крупный оползень, разрушивший жилые дома. Выполненные детальные исследования позволили установить, что в пространственном отношении ослабление склона произошло на участке существовавшей пологой трещинной зоны, секущей склон вдоль линии сместителя древнего (позднеплейстоценового) оползня.

Морфологически оползень четко обозначен тыловыми и боковыми трещинами и валом выпирания высотой до 1 м. У западной части оползня сформировались многочисленные периферийные трещины, достаточно удаленные от оползневого тела. Несколько трещин образовалось в асфальтовом покрытии на территории детского сада вдоль борта уступа. Это может быть связано с реакцией разуплотнения грунтов вблизи оползня. В коренных породах откоса обнаружены многочисленные ослабленные зоны, выполненные раздробленным перетертым материалом до состояния супеси и крупнообломочного материала.

Необходимо обратить внимание на то, что при макросейсмическом обследовании последствий землетрясения 1971 года те два дома, которые попали в зону оползня, имели наи-

большие повреждения (степени повреждения их  $d = 1.5$  и  $2$ ) на фоне остальных зданий, для которых  $d = 0-1$ .

Таким образом, есть основания утверждать, что оползень начал формироваться еще до землетрясения 1971 года.

Склоновые процессы можно ожидать на площадке «Асача», на участке, отведенном под строительство мечети в микрорайоне «Горизонт», на склоновой части территории вблизи улицы Бохняка и на некоторых других участках.

При изучении потенциально оползнеопасных площадей выявлены следующие закономерности в пространственно-временном распространении оползневых тел на территории города:

- участки ослабления склонов приурочены к сместителям древних оползневых тел;
- триггерными процессами для активизации оползневых явлений служат техногенная пригрузка, подрезка склона или же избыточное переувлажнение склонов и подтопление подвальных помещений;
- активизация оползневых процессов на территории города обусловлена в первую очередь, вследствие режима осадков на данной территории и, возможно, в какой-то мере вызвана изменениями уровня базиса эрозии и нарушением рельефа при строительстве.

Обнаружены признаки подготовки потери устойчивости склона на участке расположения очистных сооружений города, находящихся на мысе Чавыча. На этой площадке наблюдаются угловые деформации как следствие горизонтального неравномерного перемещения всего массива пород под зданиями, обусловленного развитием оползня. Грунты здесь сложены вулканическими песками с пеплом, дресвой и щебнем, вплоть до крупных валунов. Этим отложениям присуща чрезвычайно высокая пористость.

Важную роль в развитии неустойчивости склона играют процессы избыточного увлажнения, как и при оползне на улице Рябиковской. Видимо, здесь происходит скрытая утечка сточных вод из резервуаров. На этом участке возможно катастрофическое обрушение склона. Если здесь сойдет оползень, то большая часть стоков, находящихся на иловых полях сооружений, одновременно попадет в бухту. Более того, этот оползень может спровоцировать развитие скального оползня на вышележащем склоне, где расположены резервуары нефтебазы.

Оползневая опасность, помимо того, что представляет угрозу для зданий, сооружений и жизнеобеспечения города, несет угрозу для возникновения крупных экологических катастроф. Следовательно, проблема предупреждения оползней является одновременно проблемой предотвращения экологических катастроф. Так, например, при сходе Рябиковского оползня в подземные воды поступило значительное количество органических соединений

вследствие разрушения канализационных колодцев. Кроме того, в основании склона появились два источника сточных вод, вытекавших в течение достаточно продолжительно времени (до тех пор, пока не были перекрыты канализационные коммуникации).

Большую опасность представляют оползни в тех случаях, когда на оползневом склоне располагаются особо ответственные объекты, а так же емкости с нефтепродуктами, аммиаком и другими химическими продуктами.

Существуют достаточно хорошо проработанные способы своевременного выявления и предупреждения схождения оползней на оползневом склоне. Опыт таких работ имеется и на территории Петропавловска-Камчатского, где в 1999 г. была своевременно обнаружена подготовка оползня на участке расположения дома на ул. Блюхера, 33.

Создание постоянно действующей программы своевременного обнаружения оползней позволит существенно снизить оползневую опасность на территории областного центра.

Процессы, подобные оползневым, возможны и на ровных площадках. Примером этого является площадка, на которой расположено здание Института вулканологии (Бульвар Пийпа, 9). Оно построено на мощной толще вулканогенных отложений. Уровень грунтовых вод на участке главного корпуса при изысканиях 1963-1964 гг. поднимался до отметок 3.5-4.0 метра. Средняя часть здания расположена в лощине. В этой части протекал ручей. Грунты имеют большой процент мелкозернистых фракций. Под зданием происходит процесс вытекания слабых грунтов. Последствия ощутимых землетрясений в этом здании проявляются в виде значительных трещин в перегородках между кабинетами (особо это проявлено на 1 этаже), трещинами в несущих конструкциях и в покрытии пола. Это подтвердили макросейсмические обследования Петропавловского (1971 г.) и Кроноцкого (1997 г.) землетрясений. К ноябрю 1971 года здание Института достраивалось. После этого сильного сейсмического события в здании были обнаружены трещины в штукатурке с небольшими отколами ее, трещины в местах сопряжения стен. Тонкие сквозные трещины между дверными проемами во внутренних несущих стенах и лестничных клетках. В одном отсеке здания произошел сдвиг технического этажа по кладке (южная часть отсека-центр здания) на 10-12 см. Длина сдвижки на 10 м. Сдвиг распространился на всю ширину здания. При землетрясении 1997 г. наибольшие повреждения обнаружены, как и при землетрясении 1971 г., в той части здания, которая построена на погребенном ручье.

Необходимо отметить, что до настоящего времени не совсем ясна роль сейсмических событий на территории города – являются ли они причиной схождения оползней, или же играют роль триггера. Это тем более важно, что при составлении карты ОСР-97 одним из макросейсмических показателей, которые закладывались для расчета балльности, являлась интенсивность проявления обвально-оползневых процессов за последнее тысячелетие и в более отдаленном прошлом.

Кроме того, не совсем понятно, почему при одних землетрясениях происходит обрушение уже ослабленных склонов и сходжение оползней, а при других – нет. Мы полагаем, что, скорее всего, существенным фактором является степень обводненности склона, в условиях Камчатки в значительной мере зависящей от сезонных климатических условий.

Таким образом, определяющим направлением дальнейших исследований оползневой опасности в г. Петропавловске-Камчатском является изучение механизмов подготовки и схода сейсмооползней, их сходства и отличия от оползней несейсмической природы.

Необходимо отметить наличие еще одной опасности, вероятность которой невысока, но при ее реализации возможны большие человеческие потери и экономический ущерб. В случае сильного землетрясения возможны обвал и гравитационное обрушение западных секторов построек Авачинского и Корякского вулканов, которые обращены в сторону областного центра Камчатки. При таких обрушениях сходит сухая каменная лавина (нередко, при достаточном избыточном давлении магмы или летучих компонентов в магматическом очаге, сопровождаемая гигантским вулканическим взрывом), которая со скоростью 100-200 км/час устремляется вниз по склону, пробегая десятки (а иногда и сотни) километров, уничтожая все на пути. Происшедшая 40 тыс. лет назад подобная катастрофа привела к образованию соммы древнего Авачинского вулкана, в которой затем вырос конус современного вулкана. На отложениях сошедшей тогда лавины построена северная часть города Петропавловска-Камчатского. В некоторых местах мощность этих отложений достигает 300 м.

В современном конусе Авачинского вулкана уже хорошо проработаны тыловые трещины отседания готовящегося обвала, по ним происходит разгрузка фумарол. Триггерным механизмом, приводящим к обрушениям таких ослабленных секторов постройки, обычно выступают сильные землетрясения. Мы считаем, что наступило время самого тщательного изучения механизмов подготовки и триггеров таких катастроф, т.к. последствия их несопоставимы с затратами, направленными на изучение, прогноз и заблаговременную подготовку к снижению возможного ущерба.

Обобщение выполненных авторами и опубликованных в литературе макросейсмических и инженерно-геологических данных по последствиям сильных землетрясений в г. Петропавловске-Камчатском позволяет сделать вывод о том, что одним из наиболее значительных повреждающих и разрушающих факторов в данном регионе являются вторичные опасные процессы и неблагоприятные грунтовые условия. Авторы специально не рассматривали роль гидрогеологических условий, т.к. эта сторона неблагоприятных инженерно-геологических обстановок изучена достаточно хорошо.

Отличительной особенностью г. Петропавловска-Камчатского является то, что здесь отсутствуют явные признаки разрушительного воздействия на здания и сооружения высокоамплитудных смещений по разломам. Мы не исключаем такого рода движений, но, вероятно,

повторяемость их значительно ниже повторяемости землетрясений, описываемых сейсмическим циклом с установленным для Камчатки периодом повторяемости землетрясений  $M \geq 7.7$   $140 \pm 60$  ( $120 \pm 50$ ) лет [Федотов, 2002]. Зоны разломов имеют двухэтажное строение. Нижний этаж сложен скальным основанием, в фаціальном и литолого-стратиграфическом строении толщи рыхлых отложений отражается рельеф основания, а также история движений по разлому. Наибольшую опасность представляет строительство на тонкодисперсных грунтах (обладающих тиксотропными свойствами), накопление которых произошло в лагунных условиях в пределах грабенов, а также в зонах относительного разуплотнения рыхлых грунтов, размещение которых контролируется линейно вытянутыми западинами в рельефе обвально-взрывных отложений Авачинского вулкана.

По итогам выполненных в 1974 г. работ по инструментальному сейсмическому микрорайонированию, эти грунты, пользующиеся сравнительно небольшим распространением на всей застроенной к настоящему времени территории города, были выбраны в качестве средних грунтов, типичных для г. Петропавловска-Камчатского. На момент составления карты СМР площадь застройки была иной, сейчас же она существенно расширена, а параметры средних грунтов сохраняются в качестве директивных при оценке балльности, что требует изменения подходов к определению понятия «средних грунтов».

На склонах велика опасность зарождения оползней и схода их при землетрясениях. Особое внимание следует обратить на изучение естественных факторов повреждаемости зданий и сооружений при сильных землетрясениях, расположенных на насыпных и намывных основаниях.

С учетом всего вышеприведенного становится очевидной настоятельная необходимость составления новой карты сейсмического микрорайонирования территории г. Петропавловска-Камчатского и к выработке новых подходов к такому районированию.

При подготовке статьи полевые исследования выполнены по программе и при финансовой поддержке ФЦП «Интеграция» (проект № Э0334/946), а интерпретация материалов работ - при финансовой поддержке гранта № НШ-2294.2003.5 Государственной поддержки ведущих научных школ и проекта «Извержения вулканов Камчатки: магматическое питание, механизм, развитие, продукты, связанные процессы, опасность и воздействие на окружающую среду» программы Президиума РАН «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы». Инженерно-сейсмологические исследования проведены Т.Г. Константиновой, сейсмогеологические – И.Ф. Делеменем, а сейсмогеофизические – Г.И. Аносовым.

Авторы благодарят за понимание, поддержку, плодотворное обсуждение и критические замечания академика РАН С.А. Федотова.