

Гидродинамические выбросы грунта при землетрясениях. На примере Камчатки



В обводненных геологических разрезах с близким залеганием зеркала грунтовых вод при землетрясениях наблюдаются выбросы грунта из образующихся разрывных сейсмических трещин. Обычно это происходит на гравийных и песчаных террасах и косах с высоким уровнем залегания грунтовых вод.

Авторы излагают собственное видение возможного механизма образования такого феноменального сейсмического явления с позиции инженерно-геологических представлений о природных процессах и механики грунтов.

Тараканов Александр Иванович
Генеральный директор ООО «Изыскатель»

Пестриков Юрий Александрович
Главный специалист ООО «Изыскатель»

Марычева Анастасия Валентиновна
Эксперт ГАУ «Госэкспертиза ПД КК»

В обводненных геологических разрезах с близким залеганием зеркала грунтовых вод при землетрясениях наблюдаются выбросы грунта, чаще в виде водно-песчаных грифонов, из образующихся разрывных сейсмических трещин. Обычно это происходит на гравийных и песчаных террасах и косах с высоким уровнем залегания грунтовых вод. Конкретным примером могут служить выбросы разнозернистых песков из протяженных трещин, возникших на Корфской морской косе при сильном 8–9 балльном Олюторском землетрясении в с. Тилички на Севере Камчатки в 2006 г. [1].

Авторы ниже излагают собственное видение на возможный механизм образования такого феноменального сейсмического явления с позиции инженерно-геологических представлений о природных процессах и механики грунтов, при сейсмическом воздействии на грунтовую толщу. Авторы не претендуют на эксклюзивность излагаемой концепции и не исходят с позиции критики мнений других специалистов, а выражают лишь собственные представления, основанные на продолжительном опыте изыскательских работ и изучения свойств грунтов в сейсмически активном Камчатском регионе и на Северных Курилах.

Почему возникают сейсмические трещины

Сейсмические трещины возникают, когда идет распространение продольных упругих сейсмических волн со знакопеременными напряжениями «сжатия – растяжения». Разрывные напряжения образуются, если скорость распространения упругих сейсмических волн в геологических средах рассогласована (не совпадает) с колебаниями самого грунта и частицы не успевают перемещаться за движением сейсмической волны. Когда напряжения растяжения превышают предел прочности грунтов в массиве, по таким зонам возникают сейсмические трещины и разрывы. При сжатии грунтовый массив сдавливается и уплотняется, но при кратковременном растяжении он не успевает рассредоточиться по прежнему объему. В результате образуются сейсмические трещины.

На ледниковой террасе района с. Тиличики сейсмические трещины при землетрясении достигали ширины 1,5 м и измеренной глубины более 40 м. А по протяженности они уходили на десятки километров по простирацию через склоны гор и водоразделы (рис. 1, 2). В одних местах трещины имели все типичные признаки разрывов и раздвижений, а в других на одной и той же сейсмической трещине образовывались сейсмодетформации типа сдвигов, взбросов и даже надвигов (рис. 3). На Корфской низкой морской косе, сложенной, по преобладанию, песчаным и гравийным материалом с песком, образовались протяженные на сотни метров трещины с зиянием до 10–20 см; через них происходило фонтанирование водно-песчаной эмульсии – воды, перемешанной с песками, хотя распространение песков в виде самостоятельных горизонтов в геологическом разрезе морской косы весьма ограничено.



Рис. 1. Сейсмическая трещина в мерзлых породах на ледниковой террасе



Рис. 2. Сейсмические разрывные деформации склонов и вершины гор при сильном Олюторском землетрясении 26 октября 2006 года



Рис. 3. Вздрыбленные блоки многолетнемерзлых грунтов по сейсмическому разрыву

Механизм «выплеска» грунта

Рассмотрим подробнее, каким образом возникают сейсмические выбросы водно-песчаного материала и как происходит при этом некоторая сортировка состава грунтов, при которой из гравийных и галечниковых разрезов происходят выбросы, преимущественно, песчаного материала.

Как уже было сказано выше, при чередующихся сейсмических волнах «сжатия – растяжения» грунт не успевает рассредоточиваться при фазе растяжения в изначальное состояние. Тогда весь грунтовый массив разрывается с образованием вначале зияющей, затем смыкающейся трещины с видимым разрывом толщи грунтов.

Вода, в отличии от грунта, является несжимаемой средой, и когда грунт сжимается, то в единице объема его становится больше первоначального «до сейсмического состояния». Минеральная часть массива сдавливается, объем заземленных пор воздуха в грунте уменьшается, и вода в порах частично отесняется в зону свободного пространства. В результате зеркало воды в момент фазы сжатия слегка приподнимается. При фазе сейсмической волны «растяжения» грунт, наоборот, испытывает обратную «сжатую» реакцию – разуплотнение, и если грунт не успевает рассредоточиться до изначального состояния, тогда и образуются субвертикальные трещины в грунтовом массиве. Заключенная в его порах вода не сжимаема и частицы грунта создают своего рода «барражный эффект» – затрудненной фильтрации воды по порам в период их

колебательных движений. После образования зияющей трещины в грунтовом массиве при фазе «растяжения» в образованной трещине ее стенки расходятся в противоположные стороны, а грунтовая вода с некоторой примесью песка (гравийного материала) в силу несжимаемых свойств не успевает следовать за деформациями грунта. Происходит раздвижение грунта в противоположные стороны от зоны разрыва, а поровая вода остается в трещине, «вытягивая» из порового пространства песчаный материал, либо даже песчаный наполнитель из крупнообломочного грунта.

В определенный момент возникает некое межфазовое состояние, при котором грунтовый массив по образованной трещине раздвинут по сторонам, а в образованной зияющей трещине скапливается водно-песчаная смесь – вода, насыщенная песчаным материалом, «вытянутая» из порового пространства грунтового массива. И при последующей фазе сжатия вода с песком из трещины устремляется по пути наименьшего сопротивления, т.е. по трещине вверх, выплескиваясь на поверхность в виде грифонов. При повторном раздвижении выплеснутая на поверхность вода частично возвращается назад – стекает в трещину, а часть воды с песком растекается вдоль трещины и песок может сохраняться небольшими валами или «растекшимися» покровами над самой трещиной и вдоль нее достаточно длительное время. Если при землетрясении образуется несколько субпараллельных сейсмических трещин с небольшим удалением друг от друга, тогда может возникать парадоксальная ситуация, при которой по одним трещинам происходят сейсмогидродинамические «выплески грунта», а по другим – не происходят. Это объясняется несколькими причинами: шириной раскрытия трещин, достаточностью в них свободной воды при раскрытии, глубиной залегания зеркала подземных вод и зоной взаимного влияния сейсмогидродинамических событий по сближенным трещинам. Других причин при этом не просматривается.

Многочисленные колебания грунта знакопеременного типа «сжатия-растяжения» способствуют «высасыванию» песка из геологического разреза подобно циклическому грязевому насосу и выбросу суспензионной водно-песчаной массы при схлопывании зияющих, заполненных водно-песчаной эмульсией, сейсмических трещин. Таким образом вдоль трещин в грунтовом массиве происходит вытяжка песчаного наполнителя. Так может происходить до тех пор, пока из грунта поступает достаточное количество песчаного материала, а в сейсмической трещине образуется избыточное содержание воды для смешивания с песком и выплескивания суспензии наружу.

Сейсмические трещины на морской косе при землетрясении были обозначены дугообразными продольными песчаными валами с высотой гребня до 30 см, а покровы растекания на поверхности водно-песчаной суспензии вдоль трещин – шириною до 2,5–4 м. Некоторые сейсмические трещины были без выбросов водно-песчаной суспензии (рис. 4).



Рис. 4. Сейсмическая трещина в рыхлых песчаных и гравийных грунтах морской Корфской косы

Водно-песчаная смесь выбрасывалась многократно по одним и тем же трещинам при землетрясении (в зимний период) и растекалась по существовавшему в тот период на косе снежному покрову. Снег при взаимодействии с солоноватой «морской» водой частично таял; вода просачивалась обратно в грунт через возникшие разрывные трещины, а песчаный грунт, по большей части, сохранился и остался на поверхности (рис. 5).



Рис. 5. Распространенные «выплески» песчаных грунтов по сейсмической трещине на снежном покрове

Подтверждение концепции

Рассмотрим суммарные кривые гранулометрического состава природного грунта Корфской косы и песка гидродинамических выбросов при землетрясении (рис. 6). Из их сравнения можно видеть идентичность песчаного заполнителя галечникового и гравийного грунта с песчаным материалом гидродинамических сейсмических выплесков по сейсмическим трещинам. Таким образом, подтверждается изложенная концепция механизма сейсмогидродинамических выбросов при землетрясении. В отдельных случаях выбросы могут происходить не по линейным трещинам разрыва, а по отдельным локальным очагам. Последние имеют характерные изометрические очаговые очертания типа небольших сейсмогидродинамических «кратеров» (рис. 7).

Данные по гранулометрическому составу были трансформированы в логарифмические кривые гранулометрического состава (по ГОСТ 25100-2011), а также были дополнены аналогичные логарифмические графики состава песчаного и гравийного грунтов вмещающего сейсмические трещины геологического разреза. Кривые построены для двух видов грунтов – для песков (сектор А) и для гравийного грунта (сектор Б). В 80% случаев кривые гранулометрического состава песков сейсмогидродинамических выбросов оказались смещены в сторону уменьшения процентного содержания мелких фракций в сравнении с природным составом песков или (и) гравийного грунта. Это может быть свидетельством того, что при вытяжке песка в сейсмическую трещину происходит некоторая сепарация (сортировка) по крупности грунтового материала – крупные частицы застревают в порах, а меньшие по размеру «вытягиваются» в сейсмическую трещину по поровому пространству в существенно большем количестве.

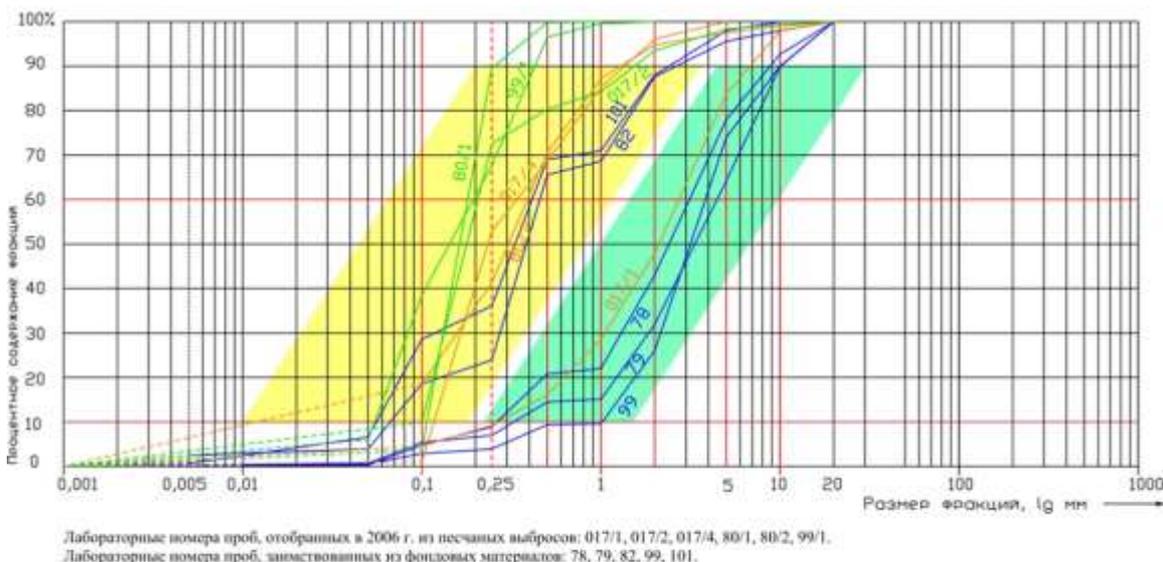


Рис. 6. Суммарные кривые гранулометрического состава грунтов в логарифмическом масштабе. Сектор А – песчаные грунты сейсмогидродинамических выбросов; сектор Б – природный гравийный грунт с песком морской Корфской косы, подверженной сейсмическим разрывным деформациям при Олюторском землетрясении 2006 года

Возникает вопрос: возникает ли сейсмическая трещина вначале, а затем по ней происходят выбросы, либо все проходит одновременно. Очевидно все же, что вначале образуется трещина, как ослабленная зона, и возникновение ее может быть вовсе не связано с наличием воды, а обусловлено исключительно прохождением упругих волн «сжатия – растяжения». А затем уже по зоне зияния происходит выброс водно-песчаной суспензии. Но, по сути, это не имеет никакого значения, поскольку обычно землетрясения длятся весьма непродолжительное время (десятки секунд и минуты) и представляют собой упругие волны «сжатия – растяжения», чередующиеся с высокой частотой и высокой скоростью перемещения в едином цикле сейсмических колебаний. Одновременное образование трещины и выброса песка маловероятно, поскольку нужны условия для предварительной «вытяжки» песка в зияющую трещину грунтового массива, а затем уже при схлопывании ее на фазе сжатия следует выброс этого грунта на поверхность. Это напоминает работающий гидравлический пульсирующий насос, основанный на механизме создания вакуума в зоне растяжения, вытягивания песка с остающейся в трещине водой, а затем закрытия трещины и выброса водно-песчаной эмульсии в зону наименьшего сопротивления.



Рис. 7. Характерные сейсмогидродинамические «кратеры» – локальные очаги выброса водно-песчаной суспензии (Олюторское землетрясение 2006 года)

Обязательна ли при этом тиксотропия? Нет, совершенно необязательна. И характерный описанный случай гидродинамических песчаных выбросов песка из гравийных грунтов морской Корфской косы при сильном Олюторском землетрясении на Камчатке в 2006 г. подтверждает такие представления. Аналогичные процессы, очевидно, могут происходить и в иных по составу грунтах. Но обводненность при этом более чем вероятна. Если же в сейсмической трещине воды недостаточно, тогда возможна вытяжка песчаного грунта по ней без выплеска на поверхность и образование своеобразных «слепых» вертикальных песчаных «сейсмогидродинамических клиньев». По сейсмическим трещинам в одних случаях образуются небольшие взбуренные валы песчаного материала (рис. 8), а в других – растекшиеся водно-песчаные потоки на поверхности земли. Это связано с различными объемами воды в трещинах и разной насыщенностью воды песком. Что же касается тиксотропии, то она может проявляться в каких-то геологических разрезах как одновременно с гидродинамическими проявлениями, так и совершенно вне связи с ними.



Рис. 8. Вал песчаного грунта, возникший при гидродинамическом выплеске при сильном Олюторском землетрясении 2006 года

По происшествии непродолжительного времени сейсмические трещины на поверхности обводненных морских и речных террас и кос стираются экзогенными процессами и становятся незаметными, но могут обнаруживаться в обнаженных разрезах или при

проходке горных выработок. В первоначальный же период своего возникновения сейсмодиформационные трещины достаточно хорошо обозначены в рельефе местности по выбросам водно-песчаного грунтового материала, а также по протяженным мелким углублениям над ними, возникающими в результате осыпания поверхностного грунта в трещину и смыва его вниз.

Понимание механизма сесмогидродинамических выбросов при землетрясениях позволяет правильно интерпретировать протекающие процессы и оценивать инженерно-геологическую и сейсмическую обстановку с более обоснованным прогнозом сейсмических процессов и деформаций для проектирования и строительства зданий и сооружений в сейсмически активных зонах.

Примечание. Лабораторные определения выполнены в ОАО «КамчатТИСИЗ». Фотоиллюстрации для настоящего сообщения любезно были представлены Т.Г. Константиновой и Т.К. Пинегиной.

Список литературы

1. Олюторское землетрясение (20 (21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. 290 с.