

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9481

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМОГЕННОГО РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЕСЧАНО- ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В п. КУДЕПСТА АДЛЕРОВСКОГО РАЙОНА г. СОЧИ)

© 2017 Ю. К. Чернов, д.ф.-м.н., проф.

ООО «Изыскатель», Россия, 355012, Ставропольский край, г. Ставрополь, ул.
Маяковского, д. 1, e-mail: chenta-26@mail.ru

Разжижение водонасыщенных грунтов под воздействием сильных землетрясений представляет большую опасность для расположенных на них объектов. Поэтому оценка возможности возникновения данных процессов представляется необходимой составной частью общей оценки сейсмической опасности территории. На примере анализа сейсмогрунтовых условий пос. Кудепста описывается опыт предварительных (на качественном уровне) оценок возможности сейсмогенного разжижения различных типов грунтов оснований и даются рекомендации по дальнейшему (количественному) определению вероятности возникновения этого природного явления на данной территории.

Ключевые слова: поселок Кудепста, сильные землетрясения, сейсмическая опасность, водонасыщенные грунты, сейсмогенное разжижение

Введение

При разжижении (liquefaction) водонасыщенных песчано-глинистых грунтов, вызванном сильными землетрясениями, происходит почти полная потеря их несущей способности, что представляет большую угрозу для расположенных на них зданий и сооружений.

Рекогносцировочные оценки, выполненные для некоторых районов г. Сочи [Чернов Ю., Чернов А., 2007] показали, что повторяемость землетрясений, способных вызвать разжижение определенных типов грунтов, составляет здесь ~ 1 раз в 200–300 лет, что в 2 раза чаще, чем повторяемость сейсмических воздействий, на которые должны рассчитываться обычные здания массовой застройки и в 3–5 раз чаще воздействий, на которые рассчитываются ответственные объекты [Свод правил..., 2011, 2014; СНиП II 7–81*, 2002].

Поселок Кудепста также находится в зоне высокой сейсмичности. Поэтому оценка представленных на данной территории слабых водонасыщенных грунтов с точки зрения опасности их сейсмогенного разжижения весьма актуальна.

Согласно выводам работы [Чернов Ю., Чернов А., 2007; Чернов, 2015] сейсмогенное разжижение грунтов вызывается совместным действием двух факторов: а) инженерно-геологическими и физико-механическими свойствами самих грунтовых массивов (и условиями их залегания), обуславливающими «склонность» или пониженную сопротивляемость этих грунтов разжижению при интенсивных сейсмических воздействиях и б) наличием в данном месте таких сейсмических воздействий, которые способны инициировать процессы разжижения в грунтах данного

типа с заданным потенциалом разжижения. Вклад или удельный вес каждого из этих двух факторов в каждом конкретном месте может быть различным и определяется региональными и локальными сейсмогеологическими условиями конкретной площадки. Так, например, даже очень слабые грунты с весьма низкой степенью сопротивления разжижению, но находящиеся в спокойном в сейсмическом отношении месте могут не иметь большой вероятности разжижения в проектный промежуток времени. И, наоборот, грунты с относительно высокими прочностными характеристиками, которые в меньшей степени «склонны» к разжижению, но находятся в местах с высокой сейсмической активностью, могут иметь достаточно высокую вероятность разжижения [Чернов Ю., Чернов А., 2007; Чернов, 2015].

Таким образом, для надежного прогнозирования опасности сейсмогенного разжижения грунтов в пределах рассматриваемого участка необходимо выполнить:

- определение физико-механических и иных параметров грунтового массива и оценку на этой основе степени устойчивости данных грунтов к разжижению в условиях сейсмических воздействий.

- определение параметров сейсмических воздействий, которые можно ожидать в данном месте в заданный промежуток времени.

Исходные данные и методика исследований

В отечественной и мировой практике изучения потенциальных сейсмических опасностей (к которым относится и сейсмогенное разжижение грунтов) действует общий принцип, требующий, чтобы такие исследования выполнялись в два этапа: 1 – предварительное исследование (на качественном уровне) и 2 – количественная оценка.

Предварительное исследование должно включать в себя обзор соответствующих топографических, геологических и геотехнических данных, сведений об уровнях грунтовых вод, данные о сильных землетрясениях и исторические данные о процессах разжижения, наблюдавшихся ранее в данном месте, а также другую опубликованную и неопубликованную информацию, имеющую отношение к данной теме. Цель предварительных исследований – определить для исследуемого участка, не имеет ли он совсем никакого потенциала или имеет достаточно низкий потенциал сейсмогенного разжижения.

Если предварительное исследование ясно демонстрирует отсутствие опасностей разжижения, то дальнейшее изучение возможности разжижения в данном месте обычно не проводится. В противном случае необходимо сделать количественную оценку опасности сейсмогенного разжижения грунтов.

Наличие или отсутствие на изучаемой площадке потенциальной опасности сейсмогенного разжижения и, соответственно, необходимости дальнейшей количественной оценки этой опасности, могут быть определены в соответствии с «Рекомендованными процедурами для анализа и уменьшения опасности разжижения», разработанными Южно-Калифорнийским Центром Землетрясений [Martin, Lew, 1999].

Используются следующие критерии определения условий, при которых сейсмогенное разжижение не происходит:

- если оценка максимально-высокого (как в прошлом, так и в настоящем и в будущем) уровня грунтовых вод глубже 15 метров от дневной поверхности, то количественные оценки разжижения не требуются.

– если коренные скальные и полускальные или подобный им цементированный материал составляют инженерно-геологическую основу участка, то эти породы можно считать не разжижаемыми и нет необходимости проводить их анализ на потенциал разжижения.

– если стандартный пенетрационный тест (SPT), дает скорректированное число ударов (N_{160}), большее или равное 30 и число тестов при этом достаточное, то количественные оценки разжижения не требуются. Если тест пенетрации конусом (cone penetration test или CPT) производится в песчаном грунте, то скорректированное сопротивление головки конуса, $q_c N_{160}$, для не разжижаемых грунтов должно быть при всех пробоотборах больше или равным 160.

– если в разрезе исследуемого участка появляются глинистые грунты, то эти грунты обычно рассматриваются как не разжижаемые. При предварительном анализе можно принять что глинистые грунты – это грунты с содержанием глины (размер частиц $<0,005$ мм) более 15%. Однако глинистый грунт, отвечающий так называемым «китайским критериям» [Seed, Idriss, 1982; Wang, 1979] может быть способен к значительной потере прочности в результате разжижения в случае, если он обладает следующими свойствами:

- процент частиц глины размером $<0,005$ мм в общем объеме грунта менее 15%;
- предел текучести (или влажность на границе текучести – W_L) менее 35%;
- содержание воды больше, чем $0,9 \cdot S_r$ (коэффициент водонасыщения).

В условиях интенсивных сейсмических воздействий наиболее опасными являются водонасыщенные мелкие пески современных отложений (не обладающих цементацией), с маленькими коэффициентами фильтрации и залегающие в толщах большой мощности [Маслов, 1982; Seed, 1979]. С уменьшением размера песчаных частиц и увеличением процента глинистой фракции появляется сцепление, затрудняющее развитие разжижения [Robertson, Campenella, 1985a, b; Seed et al., 1983; Tokimatsu, Seed, 1987].

По определениям из (Martin., Lew, 1999) изучаемый участок может быть отнесен к зоне возможного разжижения по следующим одному или более признакам:

– участок относится к области, где сейсмогенное разжижение уже происходило в историческом прошлом.

– на участке развиты неуплотненные или плохо уплотненные отложения, насыщенные водой, почти насыщенные или предположительно могущие стать насыщенными водой в проектный период времени.

– достаточные геотехнические данные и исследования указывают, что грунт потенциально восприимчив к разжижению.

Для участков, где геотехнических данных нет или недостаточно, потенциально опасные зоны выделяются с использованием следующих одного или более критериев:

а) грунты представлены отложениями позднего голоцена (возраст менее 1000 лет, современные русла рек и их исторические поймы, болота, и устья), где уровень грунтовых вод менее 15 метров от дневной поверхности, а ожидаемые пиковые ускорения грунта при землетрясениях (PGA) с вероятностью 0,10 не превысят 0,1 g в течение 50 лет.

б) грунты представлены отложениями голоцена (возраст менее 11000 лет), где уровень грунтовых вод менее чем 10 метров от дневной поверхности и ожидаемые пиковые ускорения грунта при землетрясениях (PGA) с вероятностью 0,10 не превысят 0,2 g в течение 50 лет.

в) грунты представлены отложениями позднего плейстоцена (возраст 11000–15000 лет до н.э.), где уровень грунтовых вод менее 6–7 метров от дневной поверхности, а ожидаемые пиковые ускорения грунта при землетрясениях (PGA) с вероятностью 0,10 не превысят 0,3 g в течение 50 лет.

Использованы также критерии выделения восприимчивых или «склонных» к разжижению грунтов, предложенные в [Tinsley et al., 1985].

Так как метод SPT (или CPT) в условиях грунтов изучаемой территории пока не реализован для оценки возможного разжижения грунтов, в качестве альтернативного применен также метод поперечных сейсмических волн [Youd, Idriss, 1997]. Критерием разжижения (или не разжижения) в данном случае выступает, соответственно, превышение (или не превышение) скоростями поперечных сейсмических волн пороговых или критических значений, которые, в данном случае, приняты $V_S = 250$ м/с.

Традиционно для оценки разжижения мощность изучаемой грунтовой толщи выбирается до глубин порядка 15 м. В то же время, иногда такая глубина может оказаться недостаточной. Так, например, выполненные на северо-восточном шельфе Сахалина, а также в акватории Татарского пролива расчетные оценки показали возможность разжижения до глубин ~ 25–40 м [Ранкс, 1990, 1993; Чернов Ю., Чернов А., 2007]. В районе г. Сочи мощность потенциально разжижаемой толщи также оценивается 25–30 м [Чернов Ю., Чернов А., 2007]. С учетом этого в настоящих исследованиях анализируются грунты до глубины 35 м.

В качестве исходных материалов в настоящем исследовании использованы данные об инженерно-сейсмогеологических характеристиках и физико-механических свойствах грунтов изучаемого участка, полученные в процессе строительных изысканий, выполненных ООО «Изыскатель» (г. Ставрополь) в 2008–2009 году.

Согласно результатам этих работ в верхней 30-метровой части разреза выделены следующие типы грунтов:

1) Техногенный грунт, tQ_{IV} и почва суглинистая, $pedQ_{IV}$ – ИГЭ-1 и ИГЭ-2, соответственно.

2) Глина легкая пылеватая, полутвердая (делювиально-оползневые накопления), $d-dpQ_{IV}$ – ИГЭ-3.

3) Суглинок тяжелый, полутвердый (древние оползневые накопления, dpQ_{III-IV} – ИГЭ-4.

4) Суглинок тяжелый пылеватый, твердый (древние оползневые накопления, dpQ_{III-IV} – ИГЭ-5.

УПВ с учетом возможного его подъема принят равным 0,0 м.

В процессе настоящих исследований измерение скоростей поперечных сейсмических волн (V_S) не производилось. Поэтому для их определения использованы имеющиеся данные измерений скоростей продольных волн (V_P), а также собранные нами данные о V_P и соотношениях V_P/V_S для глинистых пород четвертичного возраста высокой и средней степени водонасыщения в Ставропольском крае и других регионах (см. табл. 1).

Непосредственно на исследуемом участке в районе поселка Кудепста сейсмо-разведочным методом МПВ произведены оценки скоростей продольных волн. По результатам этих исследований (т.е. по прямым измерениям «in situ») получены следующие значения скоростей продольных волн:

для ИГЭ-1 и ИГЭ-2 – $V_P = 650$ м/с;

Таблица 1.

Значения скоростей продольных волн (V_P) и отношений скоростей продольных и поперечных волн (V_P/V_S), измеренные в глинах и песчано-глинистых отложениях верхнечетвертичного возраста. УПВ < 3 м от дневной поверхности

№№	V_P м/с	V_P/V_S	Источник
1	985	3,81	Технический отчет..., 2008а
	1024	3,00	
2	909	3,92	Технический отчет..., 2008б
	1498	3,59	
3	1037	4,43	Технический отчет..., 2008в
	1560	4,04	
4	983	2,83	Технический отчет..., 2007а
5	924	2,62	Технический отчет..., 2007б
6	950	2,60	Технический отчет..., 2007в
7	1180	2,92	Технический отчет..., 2007г
	1240	2,96	
8	956	2,87	Отчет о работе..., 2004
	862	2,99	
	973	3,22	
	734	3,05	
8	1153	2,77	Отчет о работе..., 2003а
	709	3,22	
	1300	3,50	
	697	3,04	
10	702	3,36	Отчет о работе..., 2003б
	707	3,29	
11	1260	2,44	Отчет о работе..., 2003в
	868	2,55	
12	1450	3,22	Технический отчет..., 2002
13	800	2,50	Кригер и др., 1994
	1200	3,00	
	2000	4,11	
	2200	4,18	
14	1100 (700–1500)	3,88 (2,85–5,90)	Штейнберг и др., 1993
15	1100	3,67	Чернов, Соколов, 1991
16	1290	3,50	Справочник по инженерной..., 1974
17	1126 (320)	3,33 (0,54)	Среднее значение (стандартное отклонение)

для ИГЭ-3 – $V_P = 1150$ м/с;

для ИГЭ-4 – $V_P = 1800$ м/с;

для ИГЭ-5 – $V_P = 2350$ м/с.

По этим данным с учетом приведенного в табл. 1 соотношения $V_P/V_S = 3,33$ рассчитаны значения скоростей поперечных волн (V_S), приведенные в табл. 2 в скобках.

Для ИГЭ-3, ИГЭ-4 и ИГЭ-5 эти значения являются заведомо завышенными т.к. в этих оползневых грунтах в значительных объемах содержатся фрагменты скальных пород, имеющих значительно более высокие скорости поперечных волн, чем глины и суглинки. Приняв, что в среднем скорости поперечных волн в песчаниках

~ в 2,6 раза выше, чем в четвертичных глинах [Штейнберг и др., 1993], а количество скальных фрагментов составляет ~ 25% от общего объема грунтовой толщи, получившим понижающий коэффициент для полученных «in situ» значений V_S , равный 1,40. Скорректированные таким образом значения V_S приведены в табл. 2 без скобок и используются в дальнейшем анализе.

Так как ни один из существующих методов анализа [Аналитический обзор..., 2007] не дает абсолютных по точности и надежности оценок возможности разжижения рассматриваемых грунтов (особенно на предварительной стадии, качественного анализа), для повышения достоверности получаемых результатов применено комплексирование нескольких методов, дополняющих и корректирующих друг друга.

Результаты и обсуждение

В табл. 2 сведены результаты определения возможности разжижения (на качественном уровне) для вышеуказанных типов грунтов с использованием различных критериев и методов.

Оценка возможности разжижения дается в следующих четырех градациях:

- «да» (определенно возможно);
- «нет» (определенно невозможно);
- «да – нет» (скорее возможно, чем невозможно);
- «нет – да» (скорее невозможно, чем возможно).

Специальные оценки пиковых ускорений грунта настоящими исследованиями не предусмотрены. Поэтому для оценок PGA , приведенных в табл. 2 использованы значения вероятной макросейсмической интенсивности (балльности MSK) сотрясений (I), рекомендуемые действующими СНиП [Свод правил..., 2011, 20014; СНиП II 7–81*, 2002].

Так как в настоящем исследовании производится наименее точная (предварительная) оценка, на данном этапе расчетная сейсмичность изучаемого участка принята соответствующей объектам массовой застройки, т.е. для среднего периода повторяемости $t = 500$ лет (или для вероятности превышения за проектный период 50 лет $P_{50} = 0,10$) – $I = 8$ баллов MSK для средних грунтовых условий [Свод правил..., 2011, 2014; СНиП 22–301–2000..., 2001]. Пересчет этого значения балльности в PGA по соотношению, рекомендованному Картой ОСР-97, дает $PGA \approx 280$ см/с/с, пересчет по соотношениям из [Разработка расчетных..., 2003; Аптикаев, 2001; Atkinson, Sonley, 2000; Wald et al., 1999] – дает $PGA \approx 280$ см/с/с, 282 см/с/с, 350 см/с/с и 436 см/с/с, соответственно. Так как «реальные» грунты, представленные в верхней 10-метровой толще разреза за счет высокого прогнозного УПВ ($\approx 0,0$ м) по сейсмическим свойствам несколько хуже, чем «средние» грунты (для которых получены вышеприведенные оценки I и PGA), то к ним применен повышающий коэффициент $K \approx 1,15$. Результирующие оценки (интервал значений и среднее), которые используются в дальнейшем анализе приведены в табл. 2.

Как видно из приведенных в табл. 2 частных определений по отдельным критериям полученные результаты, хотя во многих случаях и указывают на относительно благоприятный прогноз с точки зрения возможности разжижения грунта при сильном землетрясении, тем не менее, не обладают полной однозначностью. Однозначно можно только сделать вывод о восприимчивости к разжижению верхней 2–3-метровой грунтовой толщи (ИГЭ-1, ИГЭ-2) при условии поднятия УПВ до дневной поверхности, (что уже наблюдалось в прошлом).

Таблица 2.

Характеристики и результаты тестирования грунтов на возможность сейсмогенного разжижения различными методами

Грунт	«Китайские критерии»				Возраст отложений		Скорость V_s , м/с		PGA , см/с/с	
	Характеристика грунта		Оценка разжижения		Характеристика грунта	Оценка воз-мож. разжи-жения	Характери-стика грунта	Оценка воз-мож. разжи-жения	Характе-ристика грунта	Оценка воз-мож. разжи-жения
	Параметр	Значение параметра	Индивиду-альная	Общая						
ИГЭ-1 ИГЭ-2	Частиц <0,005 мм	3,7 (2,84–4,44)	да	да – нет	Q _{IV}	да	195 (195)	да	390 (300–500)	да
	W _L , %	41,9 (35,3–49,7)	нет							
	Sr, д. ед.	0,76 (0,69–0,79)	да							
ИГЭ-3	Частиц <0,005 мм	36,4 (15,5–47,5)	нет	нет – да	Q _{IV}	да	246 (383)	да	390 (300–500)	да
	W _L , %	39,6 (29,5–50,6)	нет – да							
	Sr, д. ед.	0,93 (0,82–1,00)	да							
ИГЭ-4	Частиц <0,005 мм	29,54 (8,5–44,0)	нет – да	да – нет	Q _{III-IV}	нет – да	386 (541)	нет	390 (300–500)	нет – да
	W _L , %	35,3 (27,1–42,3)	да – нет							
	Sr, д. ед.	0,85 (0,74–0,94)	да							
ИГЭ-5	Частиц <0,005 мм	38,8 (18,8–53,3)	нет	да – нет	Q _{III-IV}	нет	504 (706)	нет	390 (300–500)	нет
	W _L , %	34,5 (31,6–39,7)	да							
	Sr, д. ед.	0,89 (0,73–0,99)	да							

Для второго от поверхности слоя (ИГЭ-3) *формально* три из четырех оценок указывают на восприимчивость к сейсмогенному разжижению грунтов данного типа. Но тут нужно учитывать разную степень информативности каждого из методов. Наиболее информативным для данного случая является метод «китайских критериев». Согласно этому методу грунт может считаться восприимчивым к разжижению при положительном ответе (т.е. «да» по нашей терминологии) по всем трем используемым критериям. Поэтому метод «китайских критериев» *формально* дает отрицательный ответ о возможности разжижения. Однако при детальном рассмотрении, видно, что параметр для второго «китайского критерия» W_L только по нормативным (т.е. средним) значениям немного превышает критический уровень 35%. При этом примерно в 30–40% случаев W_L может быть и меньше 35%, что свидетельствует в пользу разжижения в этих случаях. Единственным из трех «китайских критериев», *формально* полностью удовлетворяющим условиям невосприимчивости к разжижению является первый критерий – процентное содержание глинистых частиц. Но и здесь нижняя граница содержания таких частиц в отдельных образцах практически совпадает с критическим значением приняты равным 15%. Если же учесть, что сами определения процентного содержания обладают определенной погрешностью, то некоторое количество образцов могло в действительности иметь этот показатель и меньше 15%. Кроме того, в литературе [Аналитический обзор..., 2007] имеются примеры, когда содержание глинистых частиц в потенциально разжижаемых песчано-глинистых породах повышалось до 20%. Учитывая изложенное данному типу грунта по методу «китайских критериев» присвоена категория разжижаемости не «определенно невозможно» (как следует из формального анализа), а «скорее невозможно, чем возможно».

Сходная логика применена и в отношении двух нижележащих слоев – ИГЭ-4 и ИГЭ-5 и в отношении трех других методов оценки восприимчивости к разжижению.

Результирующая оценка может быть представлена как средневзвешенное значение по всем четырем методам. Для этого оценкам «да» и «нет» приписаны значения 1,00 и 0,00, соответственно. Оценкам «да – нет» и «нет – да» – соответственно 0,75 и 0,25. Так как метод «китайских критериев» в данном случае является основным, а три других вспомогательными, принято, что его вес в два раза превышает суммарный вес всех трех вспомогательных методов, т.е. оценке по «китайским критериям» придан вес равный 6, а оценкам по каждому из трех остальных методов – вес равный 1.

При такой системе весов получены следующие оценки возможности разжижения:

- для грунта ИГЭ-1, ИГЭ-2–1,00 (или «да» по нашей терминологии);
- для грунтов ИГЭ-3–0,50 (или оценка, расположенная между «нет – да» и «да – нет» по нашей терминологии);
- для грунтов ИГЭ-4–0,22 (или оценка, расположенная между «нет – да» и «нет» по нашей терминологии);
- для грунтов ИГЭ-5–0,17 (или оценка, расположенная между «нет – да» и «нет» по нашей терминологии).

Вышеописанные результаты, полученные на данной предварительной стадии изучения (в условиях ограниченности имеющейся информации и с использованием упрощенных процедур анализа) можно интерпретировать следующим образом:

1) грунты ИГЭ-1, ИГЭ-2 определенно восприимчивы к разжижению, т.е. сейсмогенное разжижение этих грунтов возможно. Поэтому для этих грунтов нужно сделать дальнейшие количественные оценки (см. выше).

2) грунты ИГЭ-4, ИГЭ-5 определенно не восприимчивы к разжижению, т.е. сейсмогенное разжижение этих грунтов невозможно. Поэтому для этих грунтов не нужен дальнейший количественный анализ.

3) грунты ИГЭ-3 в одинаковой степени могут оказаться как восприимчивыми, так и не восприимчивы к разжижению. Для этих грунтов, учитывая тяжесть возможных последствий недооценки опасности сейсмогенного разжижения (когда ошибка типа «пропуска цели» намного опаснее ошибки типа «ложная тревога»), так же, как и в случае грунтов ИГЭ-1, ИГЭ-2 для окончательного решения необходимо выполнить дальнейший количественный анализ.

Заключение

Выполненный предварительный анализ потенциальной восприимчивости грунтов изучаемого участка к сейсмогенному разжижению показал следующее:

1. Однозначно к потенциально разжижаемым и не разжижаемым грунтам в условиях изучаемой площадки могут быть отнесены грунты ИГЭ-1, ИГЭ-2 и ИГЭ-4, ИГЭ-5, соответственно.

2. В отношении грунтов ИГЭ-3 пока нет достаточных данных для однозначного вывода о степени их восприимчивости к сейсмогенному разжижению.

3. Учитывая важность грунтов ИГЭ-3, обычно служащих основанием и вмещающих подземные части проектируемых здесь зданий (до глубины ~ 6 м от дневной поверхности) рекомендуется для данного участка провести дополнительные исследования в целях получения более точных количественных оценок следующих показателей:

– потенциала сейсмогенного разжижения (т.е. уровня циклических нагрузок, вызывающих разжижение) грунтов верхней части разреза;

– вероятных сейсмических воздействий, определяющих эти циклические нагрузки в условиях изучаемой площадки;

– мощности потенциально разжижаемой толщи.

4. При проведении дальнейших количественных исследований предусмотреть:

– специальные оценки прочностных свойств исследуемых грунтов полевыми или лабораторными методами (SPT или СРТ, трехосные циклические испытания и др.);

– расчеты вероятных пиковых ускорений, длительностей основной фазы и спектров колебаний грунта на дневной поверхности и глубине;

– количественные детерминистские и вероятностные оценки возможности сейсмогенного разжижения грунтов на разных глубинах.

Литература

1. Аналитический обзор и выбор методов прогнозирования сейсмогенного разжижения грунтов в зоне железнодорожного перехода через пролив Невельского (стадия обоснования инвестиций) // Отчет об инженерно-сейсмологических изысканиях. ОАО «СТАВРОПОЛЬТИСИЗ». – Ставрополь. – 2007. – 200 с.

2. Аптикаев Ф. Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях (сейсмические воздействия) // Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора наук. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – 47 с.

3. Кригер Н. И., Кожевников А. Д., Миндель И. Г. Сейсмические свойства дисперсных пород (сейсмолитологический подход). – М.: «ИНЖЭКО», 1994. – 195 с.
4. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1982. – 345 с.
5. Отчет о работе: «Уточнение сейсмичности площадки строительства многоэтажного жилого дома со встроенно-пристроенными офисными помещениями и гаражами-автостоянками по ул. Мира, 233/11, ул. Маяковского в 117 квартале г. Ставрополя». Фонды «СКИГЦ». – Ставрополь. – 2003а. – 116 с.
6. Отчет о работе: «Уточнение сейсмичности площадки строительства по ул. Горького, д. 34 в г. Ставрополе». Фонды «СКИГЦ». – Ставрополь. – 2003б. – 98 с.
7. Отчет о работе: «Задание расчетных сейсмических воздействий (спектров и акселерограмм колебаний грунта) на площадке строительства 23-этажного жилого дома по ул. Тухачевского, 12/1 в 525 квартале г. Ставрополя». Фонды «СКИГЦ». – Ставрополь. – 2003 в. – 126 с.
8. Отчет о работе: «Задание расчетных сейсмических воздействий (акселерограмм, спектров и макросейсмических интенсивностей колебаний грунта) на площадке строительства 20-этажного жилого дома башенного типа в комплексе жилой застройки по ул. Морозова, 27–33 в г. Ставрополе». Фонды «СКИГЦ». – Ставрополь. – 2004. – 147 с.
9. Отчет о работе: «Уточнение расчетных сейсмических воздействий (макросейсмических балльности, пиковых амплитуд, спектров и акселерограмм ускорений колебаний грунта) на площадке строительства многоэтажного жилого дома со встроенно-пристроенными офисными помещениями и гаражами стоянками по ул. Мира, 323а в г. Ставрополе». Фонды «СКИГЦ». – Ставрополь. – 2005. – 155 с.
10. Разработка расчетных моделей сейсмических воздействий для строительного проектирования с учетом неопределенности и неполноты сейсмологических данных о спектральных и временных параметрах сейсмических движений грунта. Отчет о работе. Руководитель и отв. исполнитель Ю. К. Чернов. Фонды СКИГЦ Госстроя РФ. – Ставрополь, 2003. – 141 с.
11. Ранкс К. А. Оценка возможности разжижения песчаных грунтов шельфа при сейсмических воздействиях по данным статического зондирования // В кн.: Сейсмическое районирование шельфа. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – С. 138–148.
12. Ранкс К. А. Исследования динамической устойчивости грунтов шельфовой зоны о. Сахалин (для сейсмического районирования) (по теме №118). ФГУ «СахТФГИ». – 1993.
13. Свод правил СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция. СНиП II-7-81*. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. – 75 с.
14. Свод правил СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП II 7–81*. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации., 2014. – 126 с.
15. СНиП II 7–81* Строительные нормы и правила. Часть II. Глава 7. Строительство в сейсмических районах. – М.: Госстрой России, 2002. – 45 с.
16. СНКК 22–301–2000 (ТСН 22–302–2000 Краснодарского края). Строительство в сейсмических районах Краснодарского края. – Краснодар. – 2001. – 34 с.
17. Справочник по инженерной геологии. – М.: Недра, 1974. – 407 с.

18. Технический отчет по инженерно-строительным изысканиям на объекте: «Уточнение сейсмичности площадки строительства по ул. Ленина, 464а в 527 квартале г. Ставрополя». Фонды ОАО «СтавропольГИСИЗ». – Ставрополь. – 2002. – 99 с.

19. Технический отчет об инженерно-сейсмологических изысканиях: «Уточнение сейсмичности площадки строительства многоэтажного жилого дома по ул. Федеральной, 16 в г. Ставрополе». Фонды «НП ИГЦ». – Ставрополь. – 2007а. – 92 с.

20. Технический отчет об инженерно-сейсмологических изысканиях: «Уточнение сейсмичности площадки строительства многоэтажного жилого дома по ул. Федеральной, 16а в г. Ставрополе». Фонды «НП ИГЦ». – Ставрополь. – 2007б. – 92 с.

21. Технический отчет об инженерно-сейсмологических изысканиях: «Задание расчетных сейсмических воздействий (акселерограмм, спектров и пиковых ускорений колебаний грунта) на площадке строительства многоэтажного жилого дома со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и автостоянками боксового типа на пересечении улиц Кузнечная и Пастухова в г. Пятигорске». Фонды «НП ИГЦ». – Ставрополь. – 2007 в. – 102 с.

22. Технический отчет по инженерно-сейсмологическим изысканиям: «Задание расчетных сейсмических воздействий (акселерограмм, спектров и пиковых ускорений колебаний грунта) на площадке строительства многоэтажного жилого дома со встроенно-пристроенными помещениями и подземным паркингом по ул. Пирогова, 78 в г. Ставрополе». Фонды «НП ИГЦ». – Ставрополь. – 2007 г. – 94 с.

23. Технический отчет об изыскательских работах на объекте «Жилой дом со встроенно-пристроенным торговым комплексом по ул. 50 лет ВЛКСМ, 40а в 524 квартале г. Ставрополя. Книга 2. Фонды ОАО «СтавропольГИСИЗ». – Ставрополь. – 2008а. – 104 с.

24. Технический отчет об инженерно-сейсмологических изысканиях на объекте: «Многоэтажный жилой дом со встроенными помещениями и подземной автостоянкой по ул. Доваторцев, 84/4 в квартале 530 г. Ставрополя». Книга 2. Фонды ОАО «СтавропольГИСИЗ». – Ставрополь. – 2008б. – 102 с.

25. Технический отчет об инженерно-сейсмологических изысканиях на объекте: «Многоэтажный жилой дом со встроенными помещениями и подземной автостоянкой по ул. Доваторцев, 90/5 в квартале 530 г. Ставрополя». Книга 2. Фонды ОАО «СтавропольГИСИЗ». – Ставрополь. – 2008 в. – 102 с.

26. Чернов Ю. К., Соколов В. Ю. Количественные оценки возможных сейсмических воздействий на северо-востоке о. Сахалин. – Южно-Сахалинск: Препринт ИМГиГ ДВО РАН, 1991. – 54 с.

27. Чернов Ю. К., Чернов А. Ю. Сейсмогенное разжижение грунтов (предварительные оценки для некоторых участков территорий Дальнего Востока и Юга России // Инженерная геология. Декабрь 2007 г. – М. – 2007. – С. 34–44.

28. Чернов А. Ю. Геоэкологическая оценка сейсмической опасности и риска на примере застраиваемых территорий центрального Предкавказья. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Ставрополь. – 2015.

29. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф. и др. (1993). Методы оценки сейсмических воздействий (пособие) // Вопросы инженерной сейсмологии. – М.: Наука, 1993. – Вып. 34. – С. 5–94.

30. Atkinson G. M., Sonley E. (2000). Empirical Relationships between Modified Mercalli Intensity, and Response Spectra. BSSA, 90, 2, April 2000. – Pp. 533–544.

31. Martin G.R., Lew M. (1999). Recommended procedures for implementation of DMG Special publication 117 guidelines for analyzing and mitigating liquefaction in California, SCEC, March 1999.

32. Robertson P.K., Campanella R.G. (1985a). Liquefaction Potential of Sands Using the Cone Penetration Test // *Journal of the Geotechnical Division, ASCE*. – Vol. 111, No. 3. – Pp. 298–307.

33. Robertson P.K., Campanella R.G. (1985b). Liquefaction potential of sands using the CPT // *Journal of Geotechnical Engineering*. – Vol. 133, No 3. – Pp. 446–457.

34. Seed H.B. (1979). Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes // *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. – Vol. 92, No GT2. – Pp. 201–255.

35. Seed H.B., Idriss I.M. (1982). *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute Monograph. USA, Oakland, C. A.: Earthquake Engineering Research Institute, 320 p.

36. Seed H.B., Idriss I.M., Arango I. (1983). Evaluation of liquefaction potential using field performance data // *Journal of Geotechnical Engineering*. – Vol. 109, №3. – Pp. 458–483.

37. Tinsley J.C., Youd T.L., Perkins D.M. and Chen A.T. F. (1985). *Evaluating Liquefaction Potential // Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region: An Earth-Science Perspective*. U. S. Professional Paper. – 1360 p.

38. Tokimatsu K., Seed H.B. (1987). Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking *Journal of Geotechnical Engineering*. – Vol. 113, No 8. – Pp. 861–878.

39. Youd, T. L. and Idriss, I. M. (editors.), 1997, *Proceeding of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils: National Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report No. NCEER-97-0022*, December 31, 1997.

40. Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.N., Eeri M. and Kanamori H. (1999). Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. *Earthquake Spectra*. – Vol. 15, №3. – August 1999. – Pp. 557–564.

41. Wong W. (1979). *Some Finding in Soil Liquefaction*. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute Beijing, China.

DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9481

**PRELIMINARY ANALYSIS OF THE SOILS SEISMOGENIC
DILUTION POSSIBILITY (BASED ON THE WATER-SATURATED
SANDY-ARGILLACEOUS DEPOSITS EXAMPLE IN KUDEPSTA
SETTLEMENT SOCHI CITY ADLER REGION**

© 2017 Yu. K. Chernov, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.

Izyskatel, Russia, 355012, Stavropol Krai, Stavropol, Mayakovsky str., 1,
e-mail: chenta-26@mail.ru

The dilution of the water-saturated soils under strong earthquakes impact presents large danger to the objects located on them. Therefore the evaluation of the given processes appearance possibility is the necessary component part of the territory seismic danger general estimation. Based on the example of the sett. Kudepsta seismic and soil conditions analysis is described the experience of the preliminary (at the qualitative level) estimations of the different types of foundation soil seismogenic dilution possibility and recommendation regarding further (quantitative) determination of this natural phenomenon appearances probability in this territory are given.

Keywords: Kudepsta settlement, strong earthquakes, seismic danger, the water-saturated soils, the seismogenic dilution.