

УДК550.34

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788

Предварительный анализ возможности
сейсмогенного разжижения грунтов
(на примере водонасыщенных
песчано-глинистых отложений
в п. Кудепста Адлеровского
района г. Сочи)

Ю. К. Чернов, д. ф.-м. н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: chenta-26@mail. ru

Аннотация: Территория города Сочи относится к зоне 9-балльной сейсмичности по шкале МСК-64. В условиях обводненных песков и мягкопластичных суглинков землетрясение может достигать 10-балльной сейсмичности, что может создать очень серьезную ситуацию городской инфраструктуре.

На примере анализа грунтов поселка Кудепста (район Большого Сочи) описан предварительный этап оценок опасности разжижения слабых водонасыщенных отложений под воздействием возможных здесь сильных землетрясений. Прогнозирование устойчивости различных грунтовых комплексов к сейсмогенному разжижению произведено на качественном уровне, т. е. показано в принципе разжижение возможно или нет. Количественная оценка этой возможности (вероятности) при этом не делается. Приведено описание последовательности, содержания и результатов, выполненных в процессе анализа процедур. В частности показано, что к потенциально разжижаемым грунтам в условиях изучаемого участка могут быть отнесены залегающие в верхней части разреза почвы и суглинки мощностью 2-3 м. К практически не разжижаемым относятся залегающие на глубине 5-10 м суглинки. Грунты на промежуточных глубинах требуют дополнительного изучения. Полученные данные будут использованы при дальнейшей (количественной) оценке вероятности сейсмогенного разжижения исследуемых грунтов и мощности потенциально разжижаемой толщи.

Сейсмическое разжижение слабых обводненных грунтов во время землетрясений, как правило, проявляется в виде мгновенных осадок и, как следствие, массовыми разрушениями зданий. Такие землетрясения характеризуются трещинами в земной коре до метра шириной, оползнями и обвалами со склонов, разрушением каменных построек, искривлением железнодорожных рельсов. Тектоническая раздробленность региона, изрезанный рельеф, избыточная обводненность способствуют проявлению масштабных оползней. В зоне морской абразии велика вероятность обвалов, сопряженных с разрушениями портовых сооружений. За последние 100 лет в этом регионе произошли землетрясения силой более 7 баллов.

Ключевые слова: сильные землетрясения, сейсмогенное разжижение грунта, слабые водонасыщенные грунты, мощность разжижаемой толщи, качественный и количественный анализ разжижаемости грунтов.

Для цитирования: Чернов Ю. К. Предварительный анализ возможности сейсмогенного разжижения грунтов (на примере водонасыщенных песчано-глинистых отложений в п. Кудепста Адлеровского района г. Сочи) // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 № 1. С. 58-70. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788.

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].

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 работ [Чернов Ю., Чернов А., 2007; Чернов, 2016] 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, 2016].

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

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

2) 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:

1) 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.

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

3) если стандартный пенетрационный тест (SPT), дает скорректированное число ударов (N_{160}), большее или равное 30 и число тестов при этом достаточное, то количественной 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.

4) 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» [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 $'S_r$ (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, Campanella, 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:

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

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

3) 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 0,1g 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 0,2g 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 0,3g 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. 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 рассматривается мощность изучаемой грунтовой толщи 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; 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 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 гг.

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 полученные ранее данные по измерениям скоростей продольных волн (V_P) и соотношений V_P/V_S для песчано-глинистых пород четвертичного возраста высокой и средней степени водонасыщения в Ставропольском крае и других регионах (табл. 1).

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

для ИГЭ-1 и ИГЭ-2 – $V_P=650$ м/с;

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 таблице 1 соотношения $V_P/V_S = 3,33$ рассчитаны значения скоростей поперечных волн (V_S), приведенные в таблице 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 [см. Штейнберг и др., 1993], а количество скальных фрагментов составляет ~ 25% от общего объема грунтовой толщи, получим понижающий коэффициент для полученных «insitu» значений V_S , равный 1,40. Скорректированные таким образом значения V_S приведены в таблице 2 без скобок и используются в дальнейшем анализе.

Так как ни один из существующих методов анализа [Чернов Ю., Чернов А., 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.

Таблица 1 / Table 1.

Значения скоростей продольных волн (V_p) и отношений скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s), измеренные в песчано-глинистых отложениях верхнечетвертичного возраста. УПВ < 3 м от дневной поверхности / Values of the velocities of the primary waves (V_p) and the ratios of the velocities of the primary and shear waves (V_p/V_s), measured in sandy-argillaceous sediments of the Upper Quaternary age. The groundwater level < 3 m from a day surface

No	V_p м/с	V_p/V_s	Источник / Source
1	985	3,81	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
	1024	3,00	
2	909	3,92	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
	1498	3,59	
3	1037	4,43	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
	1560	4,04	
4	983	2,83	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
5	924	2,62	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
6	950	2,60	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
7	1180	2,92	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
	1240	2,96	
8	956	2,87	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	862	2,99	
	973	3,22	
	734	3,05	
8	1153	2,77	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	709	3,22	
	1300	3,50	
	697	3,04	
10	702	3,36	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	707	3,29	
11	1260	2,44	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	868	2,55	
12	1450	3,22	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
13	800	2,50	[Кригер и др., 1994] / [Krieger et al., 1994]
	1200	3,00	
	2000	4,11	
	2200	4,18	
14	1100 (700–1500)	3,88 (2,85-5,90)	[Штейнберг и др., 1993] / [Steinberg et al., 1993]
15	1100	3,67	[Чернов, Соколов, 1991] / [Chernov, Sokolov, 1991]
16	1290	3,50	[Справочник по инженерной..., 1974] / [Engineering reference book ..., 1974]
17	1126 (320)	3,33 (0,54)	Среднее значение (стандартное отклонение) / Mean (standard deviation)

Результаты и обсуждение

В таблице 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 таблице 2 использованы значения вероятной макросейсмической интенсивности (балльности MSK) сотрясений (I), рекомендуемые действующими СНиП [Свод правил..., 2011, 2014].

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; Комплект..., 1999]. Пересчет этого значения балльности в PGA по соотношению, рекомендованному Картой ОСР [Комплект..., 1999], дает $PGA \approx 280$ см/с. Пересчет по соотношениям из [Чернов Ю., Чернов А., 2017; Аптикаев, 2001; Atkinson, Sonley, 2000; Wald et al., 1999] дает $PGA \approx 280$ см/с, 282 см/с, 350 см/с и 436 см/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 таблице 2.

Как видно из приведенных в таблице 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-хметровой грунтовой толщи (ИГЭ-1, ИГЭ-2) при условии поднятия УПВ до дневной поверхности, (что уже наблюдалось в прошлом).

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

Таблица 2 / Table 2.
Характеристики и результаты тестирования грунтов на возможность сейсмогенного разжижения различными методами / Characteristics and results of soil testing for the possibility of seismic liquefaction by various methods

Грунт / Soil	«Китайские критерии» / «Chinese criteria»		Возрастоложений / The age of the deposits		Скорость V_s , м/с / Velocity V_s , m/s		PGA , см/с/с / PGA , sm/s/s	
	Характеристика грунта / Soil characteristics		Оценка разжижения / Evaluation liquefactions		Характеристика грунта / Soil characteristics	Оценка возмож. разжижения / Evaluation possible liquefactions	Характеристика грунта / Soil characteristics	Оценка возмож. разжижения / Evaluation possible liquefactions
Параметр / Parameter	Значение параметра / Value of parameter	Индивидуальная / Individual	Общая / General	Характеристика грунта / Soil characteristics	Характеристика грунта / Soil characteristics	Характеристика грунта / Soil characteristics	Характеристика грунта / Soil characteristics	Характеристика грунта / Soil characteristics
ИГЭ-1 / IGE-1	Частиц <0,005 мм / Particles <0,005mm	3,7 (2,84-4,44)	да / yes	Q _{IV}	195 (195)	390 (300-500)	да / yes	да / yes
	W_L , %	41,9 (35,3-49,7)	нет / no					
	Sr, д. ед.	0,76 (0,69-0,79)	да / yes					
ИГЭ-3 / IGE-3	Частиц <0,005 мм / Particles <0,005mm	36,4 (15,5-47,5)	нет / no	Q _{IV}	246 (383)	390 (300-500)	да / yes	да / yes
	W_L , %	39,6 (29,5-50,6)	нет-да / no-yes					
	Sr, д. ед.	0,93 (0,82-1,00)	да / yes					
ИГЭ-4 / IGE-4	Частиц <0,005 мм / Particles <0,005mm	29,54 (8,5-44,0)	нет-да / no-yes	Q _{III-IV}	386 (541)	390 (300-500)	нет / no	нет-да / no-yes
	W_L , %	35,3 (27,1-42,3)	да-нет / yes-no					
	Sr, д. ед.	0,85 (0,74-0,94)	да / yes					
ИГЭ-5 / IGE-5	Частиц <0,005 мм / Particles <0,005mm	38,8 (18,8-53,3)	нет / no	Q _{III-IV}	504 (706)	390 (300-500)	нет / no	нет / no
	W_L , %	34,5 (31,6-39,7)	да / yes					
	Sr, д. ед.	0,89 (0,73-0,99)	да / yes					

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, принятым 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 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.

5. Учитывая, что в российской практике кондиционные оценки сейсмогенного разжижения грунтов пока не являются рутинными, опыт настоящих исследований может быть полезен для проведения подобных инженерно-сейсмологических исследований в других районах.

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 «СтавропольГИСИЗ». – 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. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах // Министерство науки и технологий, Российская Академия наук, Объединенный Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта. М. – 1999. – 57 с.

4. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1982. – 345 с.

5. 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.

6. Свод правил СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция. СНиП II-7-81*М. Министерство регионального развития Российской Федерации. – М. – 2011. – 75 с.
7. Свод правил СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП II 7-81*М. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М. – 2014. – 126 с.
8. 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.
9. Чернов Ю.К., Чернов А.Ю. Модели для описания связи пикового ускорения с макросейсмической балльностью сотрясений грунта // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №3. – С. 117-124.
10. Чернов А.Ю. Геоэкологическая оценка сейсмической опасности и риска на примере застраиваемых территорий центрального Предкавказья // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Ставрополь. – 2016. – 160 с.
11. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие). // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 34. – М.: Наука, 1993. – С. 5-94.
12. Atkinson G. M., Sonley E. Empirical Relationships between Modified Mercalli Intensity, and Response Spectra // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2000. – Vol. 90. – Pp. 533-544.
13. Martin G. R., Lew M. Recommended procedures for implementation of DMG Special publication 117 guidelines for analyzing and mitigating liquefaction in California // Southern California Earthquake Center University of Southern California. – March 1999. – 63 p.
14. Robertson P.K. and Campanella R.G. Liquefaction Potential of Sands Using the Cone Penetration Test // Journal of the Geotechnical Division, ASCE. – 1985a. – Vol. III. No. 3. – Pp. 298-307.
15. Robertson P.K., Campanella R.G. Liquefaction potential of sands using the CPT // Journal of Geotechnical Engineering. – 1985b. – Vol. 133. No. 3. – Pp. 446-457.
16. Seed H.B. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes // Journal of the Geotechnical Engineering Division. – 1979. – Vol. 92. No. GT2. – Pp. 201-255.
17. Seed H.B., Idriss I.M., Arango I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data // Journal of Geotechnical Engineering. – 1983. – Vol. 109. No. 3. – Pp. 458-483.
18. Tinsley J. C., Youd T. L., Perkins D. M. and Chen A. T. F. Evaluating Liquefaction Potential // Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region: An Earth-Science Perspective. U. S. Professional Paper 1360. – 1985. – Pp. 263-316.
19. Tokimatsu K., Seed H. B. Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking // Journal of Geotechnical Engineering. – 1987. – Vol. 113. No. 8. – Pp. 861-878.
20. Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.N., Eeri M. and Kanamori H. Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California // Earthquake Spectra. – August 1999. – Vol. 15. No. 3. – Pp. 557-564.
21. Wong W. Some Finding in Soil Liquefaction // Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute Beijing, China. – 1979. – 34 p.

GEOFYSICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788

A preliminary analysis of the ability of seismic liquefaction of soils (for example, water-saturated sandy-clay deposits in Kudepsta village, Adler district of Sochi)

Yu. K. Chernov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.

Geophysical institute Vladikvaz Scientific Center Russian Academy of Sciences,
93aMarkova Str., Vladikavkaz362002, Russia
e-mail: chenta-26@mail. ru

Abstract. The territory of Sochi belongs to the 9-point seismicity zone according to the MSK-64 scale. Under the conditions of flooded sands and soft plastic loams, an earthquake can reach 10-point seismicity, which can create a very serious situation for the urban infrastructure.

Using the example of soil analysis of the settlement of Kudepsta (the area of Big Sochi), a preliminary stage of risk assessment of liquefaction of weak water-saturated sediments under the influence of possible strong earthquakes is described. Prediction of the stability of various soil complexes to seismogenic liquefaction is made at a qualitative level, i. e. it is shown in principle is liquefaction possible or not. A quantitative assessment of this possibility (probability) is not made. A description of the sequence, content and the results performed during the analysis of procedures is given. In particular, it is shown that under the conditions of the studied area the soil and the loam with a thickness of 2-3 m can be classified as potentially liquefied soils. The loam lying at a depth of 5-10 m is considered to be practically non-liquefiable. Soils at intermediate depths require an additional study. The obtained data will be used in the further (quantitative) assessment of the probability of seismogenic liquefaction of the studied soils and the thickness of a potentially liquefied stratum.

Seismic liquefaction of weak flooded soils during earthquakes, as a rule, manifests itself in the form of instantaneous precipitation and, as a result, massive destruction of buildings. Such earthquakes are characterized by cracks in the earth's crust up to a meter wide, landslides and avalanches from the slopes, the destruction of stone buildings, the deformation of railway rails. Tectonic fragmentation of the region, rugged relief, excessive water cut contribute to the manifestation of large-scale landslides. In the zone of marine abrasion, there is a high probability of landslides associated with the destruction of port facilities. Over the past 100 years in this region earthquakes of more than 7 points occurred.

Keywords: strong earthquakes, seismogenic soil liquefaction, weak water-saturated soils, a thickness of a liquefied stratum, qualitative and quantitative analysis of soil liquefaction.

For citation: Chernov Yu. K. A preliminary analysis of the ability of seismic liquefaction of soils (for example, water-saturated sandy-clay deposits in Kudepsta village, Adler district of Sochi). *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 58-70. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788.

References

1. Analytical review and selection of methods for prognosis of seismogenic soil liquefaction in the area of the railway crossing through the Nevelsky Strait (investment justification stage). Report on engineering and seismic surveys. Public corporation «Stavropol'TISIZ». Stavropol. 2007. 200 p. (in Russ.)
2. Aptikaev F.F. Strong ground motions during earthquakes (seismic effects). Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Science. M. OIFZ RAN, 2001. 47 p. (in Russ.)
3. A set of maps of the general seismic zoning of the territory of the Russian Federation OSR-97. Explanatory note and list of cities and settlements located in seismic areas. Ministry of

Science and Technology, Russian Academy of Sciences, United Institute of Physics of the Earth. O. Yu. Schmidt. Moskva. 1999. 57 p. (in Russ.)

4. Maslov N.N. Fundamentals of engineering geology and soil mechanics. M. Vysshaya shkola, 1982. 345 p. (in Russ.)

5. Ranks K. A. Assessment of the possibility of liquefaction of sandy soils of the shelf during seismic effects according to static sounding data. Seismic zoning of the shelf. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1990. pp. 138-148. (in Russ.)

6. Svod pravil SP 14.13330.2011. Stroitel'stvo v seismicheskikh rajonah. Aktualizirovannaya redakciya. SNiP II-7-81*M. Ministry of Regional Development of the Russian Federation. – M. – 2011. – 75 p. (in Russ.)

7. The set of rules SP 14.13330.2014. Construction in seismic areas. SNiP II 7-81 * M. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. M. 2014. 126 p. (in Russ.)

8. Chernov Yu. K., Chernov A. YU. Seismogenic soil liquefaction (preliminary estimates for some areas of the Far East and Southern Russia. Engineering geology. December 2007. M. 2007. pp. 34-44. (in Russ.)

9. Chernov Yu. K., Chernov A. Yu. Models for describing the relationship of peak acceleration to the macroseismic intensity of ground tremors. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2017. No. 3. pp. 117-124. (in Russ.)

10. Chernov A. Yu. Geoecological assessment of seismic hazard and risk on the example of built-up areas of central Ciscaucasia. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Stavropol. 2016. 160 p. (in Russ.)

11. Shteinberg V. V., Saks M. V., Aptikaev F. F. et al. Methods for assessing seismic effects (manual). Problems of engineering seismology. Issue 34. M. Nauka, 1993. Pp. 5-94. (in Russ.)

12. Atkinson G. M., Sonley E. Empirical Relationships between Modified Mercalli Intensity, and Response Spectra. Bulletin of the Seismological Society of America. 2000. Vol. 90. Pp. 533-544.

13. Martin G. R., Lew M. Recommended procedures for implementation of DMG Special publication 117 guidelines for analyzing and mitigating liquefaction in California. Southern California Earthquake Center University of Southern California. March 1999. 63 p.

14. Robertson P. K. and Campanella R. G. Liquefaction Potential of Sands Using the Cone Penetration Test. Journal of the Geotechnical Division, ASCE. 1985a. Vol. III. No. 3. Pp. 298-307.

15. Robertson P. K., Campanella R. G. Liquefaction potential of sands using the CPT. Journal of Geotechnical Engineering. 1985b. Vol. 133. No. 3. Pp. 446-457.

16. Seed H. B. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. Journal of the Geotechnical Engineering Division. 1979. Vol. 92. No. GT2. Pp. 201-255.

17. Seed H. B., Idriss I. M., Arango I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. Journal of Geotechnical Engineering. 1983. Vol. 109. No. 3. Pp. 458-483.

18. Seed H. B., Tokimatsu K., Harder L. F. and Chung, R. M. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering. – 1985. – Vol. III. No. 12. – Pp. 1425-1445.

19. Tinsley J. C., Youd T. L., Perkins D. M. and Chen A. T. F. Evaluating Liquefaction Potential. Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region: An Earth-Science Perspective. U. S. Professional Paper 1360. – 1985. – Pp. 263-316.

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

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

22. Wong W. Some Finding in Soil Liquefaction. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute Beijing, China. – 1979. – 34 p.