

<https://doi.org/10.53278/2306-9139-2022-2-19-51-57>
УДК 624.131

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ РАЗЖИЖАЕМОСТИ ГРУНТОВ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

SEISMIC LIQUEFACTION ASSESSMENT OF SOILS IN THE SOUTHERN PART OF THE BARENTS SEA

С. Г. Миронюк¹, В. Ю. Ионов²
Sergey G. Mironyuk¹, Vsevolod Yu. Ionov²

¹ Геологический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, д. 1, Москва, 119234, Россия

¹ Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119234, Russia

² ПАО «НОВАТЭК», ул. Удальцова, д. 2, Москва, 119415, Россия

² «NOVATEK» PJSC, Udaltsova St., 2, Moscow, 119415, Russia

mironyuksg@gmail.com¹, sevaionov@gmail.com²

Аннотация. В статье анализируются результаты оценки сейсмической разжижаемости грунтов, распространенных в южной части Баренцева моря. Исследования склонности донных грунтов к разжижению были выполнены в рамках инженерно-геологических изысканий для строительства объектов обустройства Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ). Приведен обзор аналогичных исследований, выполненных в сейсмоопасных районах Черного, Азовского, Охотского морей. Отмечается, что образование сейсмодетонаций, обусловленных разжижением грунтов, представляет большую опасность для нефтегазопромысловых сооружений как на суше, так и в море. Определение динамической устойчивости грунтов юга Баренцева моря выполнялось по результатам статического зондирования и расчета сейсмического потенциала разжижения. Показано, что по данным зондирования изученные песчаные грунты оснований проектируемых сооружений ШГКМ не склонны к разжижению при сейсмических нагрузках, характерных для южной части Баренцева моря. В то же время полученные значения сейсмического потенциала разжижения свидетельствуют о возможности перехода песчаных грунтов береговой зоны в текучее состояние при землетрясении с интенсивностью 7,7 баллов. Рекомендовано выполнить прогноз опасности разжижения этих грунтов путем лабораторного определения их динамических свойств.

Abstract. The article presents analysis of results of seismic liquefaction assessment of soils distributed in the southern part of the Barents Sea. Studies of the tendency of seabed soils to liquefaction were carried out as part of the engineering-geological surveys for the construction of production facilities of the Shtokman gas-condensate field (ShGKF). A review of similar studies carried out in seismically hazardous areas of the Black Sea, the Sea of Azov and the Sea of Okhotsk is given. It is noted that formation of seismic deformations caused by liquefaction of soils is very dangerous for oil and gas production facilities both onshore and offshore. The dynamic stability of soils in the southern area of the Barents Sea was performed based on the results of cone penetration testing and calculation of seismic liquefaction potential. It is shown that the studied clay and sandy soils of the foundations of the ShGKF project facilities, on the basis of cone penetration testing, are not prone to liquefaction under the seismic loads typical for the southern part of the Barents Sea. At the same time values of seismic liquefaction potential indicate the possibility of coastal sandy soils transition to fluid state for earthquakes of 7,7 intensity according to the MSK-64 scale. It is recommended to predict the danger of liquefaction of these soils by dynamic properties laboratory determination.

Ключевые слова: опасность разжижения, Баренцево море, сейсмическое разжижение грунтов, статическое зондирование, сейсмический потенциал разжижения, береговая зона, песчаные грунты

Keywords: liquefaction hazard, Barents Sea, seismic liquefaction of soils, cone penetration testing, seismic liquefaction potential, coastal zone, sandy soils

Введение

Сейсмическое разжижение грунтов может вызывать значительные повреждения зданий и сооружений, возведенных на водонасыщенных дисперсных грунтах, прежде всего в связи быстрыми и, как правило, неравномерными их вертикальными осадками отложений и латеральными деформациями [5, 7]. В морях негативные для сооружений последствия разжижения отложений возможны также при штормовых воздействиях на донные грунты.

Основной опасностью, связанной с разжижением, для сооружений гравитационного типа (платформы, причалы и др.) является вертикальное перемещение поверхности морского дна, а для заглубленных трубопроводов — латеральное растекание осадков и возникновение эффекта положительной плавучести с возможной потерей защитного слоя грунта (размыв). Утрата этого слоя, в свою очередь, повышает вероятность повреждения линейных сооружений ледовыми образованиями в замерзающих морях.

Опыт изучения сейсмической разжижаемости морских грунтов

Большое внимание рассматриваемой проблеме уделялось в институте «ПНИИИС» Госкомархстроя РСФСР в период становления сейсмического микрорайонирования (СМР), в т. ч. на шельфе. В начале 90-х годов прошлого века в указанной организации были проведены исследования по прогнозированию остаточных деформаций в песчаных грунтах. Основные выводы по результатам выполненных исследований сводились к следующему:

1. Наибольшую склонность к разжижению проявляют водонасыщенные пески и супеси, реже суглинки;
2. В большинстве случаев сейсмодетформации в песчаных грунтах начинают проявляться при землетрясениях с интенсивностью (I) 7 баллов;
3. Разжижение в песчаных грунтах, как правило, локализуется в приповерхностных частях грунтовой толщи до глубины 5–10 м;
4. В процессе разжижения происходит оседание поверхности за счет динамического уплотнения рыхлых водонасыщенных отложений. При неравномерном уплотнении в массиве возникают многочисленные вертикальные трещины;
5. В случае даже незначительных уклонов поверхности (3–5°) формируются оползни разжижения, которые могут трансформироваться в обломочные потоки (согласно нашим исследованиям, на шельфе Черного моря [14] оползни разжижения, как следствие сильных ($6,0 < M_w < 8,0$) землетрясе-

ний, могут возникнуть при уклонах шельфа всего 1,5°–2,0°).

Для предотвращения аварий и инцидентов на площадках расположения морских объектов, согласно СП 504.1325800.2021, должны быть получены данные, необходимые для расчетов динамической устойчивости грунтов, в соответствии с ГОСТ Р 56353–2022.

Наш опыт изучения рассматриваемого явления в некоторых районах морей с высокой сейсмичностью (восток Черного, юг Азовского, шельф Охотского морей), показал, что в грунтовых толщах областей, подверженных землетрясениями с $M = 5,5–7,5$ и интенсивностью (I) 8–9 баллов имеются слои глинистых и песчаных грунтов, склонных к разжижению [8,9,12,13]. В основном они представлены песками мелкими и пылеватыми средней плотности (пролив Невельского), песками мелкими рыхлыми, средней плотности, песками пылеватыми средней плотности и песками средней крупности средней плотности (северо-восточный шельф о. Сахалин, Кириновское ГКМ), супесью текучей со степенью плотности $I_d < 0,60$ (прикавказский шельф Черного моря), сапропелевыми осадками Черного моря (Туапсинский прогиб). В Азовском море значительно деформируются при сценарном землетрясении с $M = 7,5$, но не разжижаются ($PPR = 0,93–0,95$) глины текучепластичные, тяжелые и суглинки мягкопластичные, тяжелые пылеватые.

Наиболее детально проблема разжижаемости грунтов изучена на северо-восточном шельфе о. Сахалин [10,15]. В ходе изысканий для обустройства ряда крупнейших месторождений этого региона с участием компании Fugro (Нидерланды) были получены нижеследующие результаты.

В целом, приповерхностная толща северо-восточного шельфа о. Сахалин сложена грунтами склонными к разжижению. В основном они представлены четвертичными песками пылеватыми, мелкими и средней крупности.

На площади Аркутун-Дагинского месторождения возможность разжижения грунта оценивалась посредством вычислений «коэффициентов циклического сопротивления» (CRR) и «коэффициентов циклического напряжения» (CSR) грунтов для землетрясений с $M_w = 7,5$. Выполненные расчёты показали, что грунты обладают высокой степенью сопротивления разжижению, кроме песчаных разновидностей грунтов в осадках палеодолин.

На Лунском месторождении широко распространены мелкие (преобладающая разновидность) и пески средней крупности, залегающие на породах нутовской свиты. Наибольшую опасность здесь также представляют заполняющие палеодолины

пески, которые разжижаются на глубину до 7,0 м.

В границах месторождения Чайво грунтовая толща мощностью 10,0 м сложена песками мелкими и средней крупности, плотными и очень плотными. Мощность слоя возможного разжижения песков в верхней части разреза менее 1,0 м.

На Кайганско-Васюканском участке вероятное разжижение донных осадков при землетрясениях не представляет опасности, так как полупогружная плавучая буровая платформа непосредственно с дном не взаимодействует. При разжижении грунтов якоря, удерживающие платформу, лишь погрузятся глубже в грунт, что не представляет опасности. Однако при разжижении грунтов может быть повреждено подводное оборудование устья скважины.

В районе месторождения Одопту (расположено в 9 км от Пильтунской косы, о.Сахалин) также были обнаружены грунты, склонные к разжижению при сейсмических нагрузках. Здесь, во время катастрофического Нефтегорского землетрясения ($M_w = 7,1$), в местах излияния разжиженных обводненных песчано-глинистых масс на Пильтунской косе, образовались многочисленные грифоны (sand boils) диаметром до 25–30 м. Излияния разжиженных грунтов были приурочены также к сейсмогенным трещинам шириной 0,5 м [16]. Несомненно, образование сейсмодеформаций, обусловленных разжижением грунтов, таких как грифоны, крупные трещины также представляют большую опасность для нефтегазопромысловых сооружений как на суше, так и в море.

Изучение разжижаемости грунтов Баренцева моря следует отнести к началу 90-х годов 20 века, что связано с планами освоения углеводородных ресурсов Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ) (рис. 1).

В указанный период времени путем анализа и обобщения литературных и фондовых материалов по геологии, тектоники и сейсмичности Баренцевоморского региона организацией «ИМЦ-стройизыскания» была выполнена предварительная оценка инженерно-сейсмических условий участка строительства ШГКМ, в т. ч. рассмотрены вопросы динамической устойчивости донных грунтов. Был сделан вывод, что при прогнозируемом расчетном сейсмическом воздействии (5–6 баллов по шкале MSK-64) разжижение грунтов, слагающих участок строительства, в интервале глубин 0,0–20,0 м (илы глинистые, глины текучепластичные, твердые) маловероятно.

Позже, на проектном этапе изыскания, после принятого решения об использовании на ШГКМ самоходного ледостойкого технологического судна



Рис. 1. Обзорная схема района работ

(Floating Production Unit) в сочетании с технологией подводной добычи углеводородов проблемой разжижения грунтов занималось ООО «Питер Газ». Необходимо было оценить опасность погружения в грунты, в случае их разжижения, оснований объектов подводного комплекса и трубопровода ШГКМ — губа Опасова (Кольский п-ов).

Методы полевых исследований грунтов

Изучение грунтовых условий района размещения сооружений ПДК и трассы трубопровода включало: инженерно-геологическое бурение, пробоотбор, статическое зондирование, а также лабораторные исследования отложений. Полевые работы выполнялись ОАО «АМИГЭ», ООО «Фугро Инжиниринг», Институтом геоэкологии РАН и другими организациями.

Пробоотбор осуществлялся с помощью прямых точных гравитационных и вибрационных трубок с внутренним диаметром порядка 140 мм, длиной 6,0 м. Статическое зондирование проводилось в соответствии с ГОСТ 19912–2001 и ASTM D5778 в двух модификациях: в скважине и с поверхности морского дна с помощью установки статического зондирования «Sea Scout». CPTU выполнялось

с использованием стандартных конусов (площадь зонда 10 см², угол 60°) или конусов большего диаметра (площадь 15 см²) — для более точного измерения параметров в «слабых» глинистых грунтах. Используемые зонды обеспечивали измерение удельного сопротивления грунта под наконечником (конусом) зонда (q_c), удельного сопротивления грунта на участке боковой поверхности (муфте трения) зонда (f_s) и порового давления (U) (рис. 2).



Рис. 2. Установка статического зондирования «Sea Scout»

Состав и свойства грунтов на участках строительства

Изыскания показали, что на площади ШГКМ в верхней части разреза до глубины 10,0–18,0 м залегают (сверху вниз) илы глинистые и суглинки тяжелые с консистенцией от текучей до тугопластичной, пылеватые с прослоями и линзами песков и супеси.

На трассе трубопровода разрез сложен преимущественно илом глинистым, суглинком текучим с линзами песка мелкого, глиной текучепластичной (рис. 3).

В прибрежной и средней части трассы проектируемого трубопровода, наряду с глинистыми грунтами, в верхней части разреза залегают супеси текучие и песчаные грунты мощностью около 2,0 м (рис. 4).

Ближе к берегу супесь постепенно замещается песками мелкими и средней крупности. На участке берегового примыкания трубопровода преобладают пески средней крупности (ундаэлювий, прибрежный подтип, mv) с включениями детрита раковин моллюсков, гальки (щебня) кристаллических пород (по полевому описанию до 25%) в придонной части разреза (рис. 5). Максимальная вскрытая мощность песков этого генетического типа составляет 3 м.

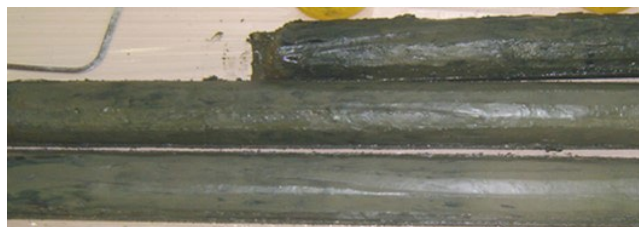


Рис. 3. Характерный вид морских верхнеплейстоцен-голоценовых отложений. Ил, переходящий в текучий суглинок



Рис. 4. Характерный вид приповерхностного слоя супеси в интервале 0,0–1,50 м



Рис. 5. Характерный вид песчаных грунтов на участке берегового примыкания трубопровода

В береговой зоне губы Опасова локально развиты и флювиогляциальные пески (fg). На ряде участков флювиогляциальные отложения выходят на поверхность морского дна, но обычно перекрыты толщей морских голоценовых осадков. Мощность слоя песков 0,8–9,0 м. Представлены песками пылеватыми, плотными, с редкими включениями гальки и гравия (до 5%). Гранулометрический состав и свойства изученных песков представлены в таблице 1.

Методы оценки склонности грунтов к разжижению

Оценка параметров, характеризующих возможность разжижения грунтов по результатам статического зондирования выполнена по методу Robertson (NCEER R&W 1998, 2009) [20,21]. Условия и принципы применения данного метода подробно рассмотрены в работах Е. А. Вознесенского [3–5]. Определяемый с помощью указанной методики

Таблица 1. Нормативные значения показателей состава и свойств неоплейстоцен-голоценовых субаквальных песчаных отложений района работ

Разновидности песков	Содержащие частиц, %				Влажность, W, д. е.	Плотность, $\gamma/\text{см}^3$, ρ	Коэффициент пористости грунта, e , д. е.	Удельное сцепление, C , кПа	Угол внут. трения, ϕ , град.	Модуль деформации, E , МПа (при интервале давлений, МПа)
	>2	2–0,05	0,05–0,005	< 0,005						
Средней крупности, плотные и средней плотности	6,2	92,7	1,1	0,0	0,17–0,19	1,88–1,99	0,43–0,69	0–1	36–39	25 (0,1–0,4)
Пески пылеватые, плотные	до 5*	88	8,4	3,5	0,19	2,09	0,53	0,0	39	40 (0,2–0,3)

* по полевому описанию

и широко используемый в зарубежной практике, фактор безопасности FS соответствует потенциалу разжижения F_L , используемому для оценки возможности разжижения грунтов, согласно ГОСТ 25100–2011 и ГОСТ 56353–2022. В соответствии с ГОСТ 25100–2011, склонность грунтов к разжижению характеризуются таким образом: разжижаемые, если $F_L \leq 1,15$; неразжижаемые, если $F_L > 1,15$.

Кроме оценки динамической устойчивости донных грунтов, на основании данных статического зондирования предварительная оценка динамической устойчивости грунтового основания морских сооружений может быть выполнена с использованием подхода, разработанного В. В. Штейнбергом [19]. Базовым понятием упомянутого подхода является сейсмический потенциал разжижения (Q). Экспериментально установлено, что возможность разжижения песчаных отложений определяется величиной $Q_{cr} = 1300 \text{ см/с}^2$. При превышении указанного значения $Q > Q_{cr}$ с большой вероятностью возникает разжижение песчаных грунтов. Сейсмический потенциал разжижения связан с максимальным ускорением a_{max} и длительностью колебаний на уровне 0,5 от максимального ускорения ($\tau_{0.5}$) простым соотношением:

$$Q = a_{max} \times \tau_{0.5}.$$

Значения параметров, входящих в указанную формулу, могут быть рассчитаны на основе эмпирических соотношений, приведенных в работах [1, 2], или путем обработки акселерограмм.

В работе [20] рекомендовано использовать иные, более низкие пороговые значения $Q_{cr} = 1100$ и 850 см/с^2 . Отмечается, что величина $Q_{cr} = 1300 \text{ см/с}^2$ — излишне оптимистичная оценка. Данный вывод подкреплен ссылкой на работу [18], в которой указано, что совместное воздействие горизонтальных и вертикальных составляющих сильных движений может значительно снизить порог сейсмических ускорений необходимых для возникновения разжижения. Предложена и обо-

снована более консервативная (пессимистическая) величина критического уровня $Q_{cr} = 850 \text{ см/с}^2$.

Исходными данными для косвенных оценок разжижения грунтов являлись материалы, которые были получены в ходе проведения инженерно-геологических изысканий разных лет на площади ШГКМ и по трассе проектируемого трубопровода. Параметры, необходимые для оценки фактора безопасности (M_{max} , a_{max}), были получены в рамках работ по уточнению исходной сейсмичности (УИС) и СМР. Согласно материалам УИС, сейсмическая интенсивность на площади ШГКМ и вдоль трассы трубопровода определяется исключительно местными землетрясениями. Все остальные активные внешние зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) (Брусиловская, Свальбардская, Новоземельская) не оказывают существенного влияния на сейсмичность площадок строительства ввиду их удаленности. Установлено, что на площади ШГКМ и на большей части трассы трубопровода $M_{max} = 3,5–4,0$; $a_{max} = 0,25–0,70 \text{ м/с}^2$.

Опыт строительства морских трубопроводов свидетельствует, что наиболее сложным для строительства является участки их береговых примыканий [11]. Не является исключением в этом отношении береговое примыкание трубопровода ШГКМ — губа Опасова. К основным особенностям геологического строения указанного участка относится повсеместное распространение скальных пород высокой прочности — гранитов, гранодиоритов, гранито-гнейсов, имеющих неровную кровлю и перекрытых в ряде мест чехлом песков мощностью до 9,0 м (возможен эффект резонансного усиления сейсмических колебаний) [6, 17]. Здесь рассматриваемый трубопровод пересекает активный разлом («сброс Карпинского»). Выделенная по результатам УИС Мурманская зона ВОЗ имеет достаточно высокий сейсмический потенциал ($M_{max} = 5,0 \pm 0,2$). Глубина гипоцентров, ожидаемых мелкофокусных землетрясений $h = 10 \text{ км}$. Согласно данным СМР, расчетная интенсивность

землетрясения здесь может достигать 7,7 баллов для периода повторяемости $T = 5000$ лет ($a_{max} = 1,86 \text{ м/с}^2$).

Первый этап оценки склонности грунтов к разжижению заключался в определении индекса типа грунтов, величина которого характеризует их литологический состав. На втором этапе выполнялся расчёт потенциала разжижения, с помощью которого и оценивалась опасность разжижения грунтов. В ходе обработки измеренных параметров зондирования было выполнено 130 расчётов индекса типа грунта и потенциала разжижения (рис. 6).

Геологический разрез на участках проектируемых объектов ПДК и трассы трубопровода с помощью СРТ и пробоотбора был охарактеризован до глубин порядка 13,0 м, а на трассе трубопровода до 5,0 м. Исследования показали, что повсеместно в качестве грунтового основания для сооружений в разрезе преобладают связные грунты (глинистые, илы). Текучие, текуче- и мягкопластичные глины, суглинки и илы характеризуются низкими значениями скоростей поперечных волн, $V_s = 60\text{--}150 \text{ м/с}$, что косвенно указывает на их склонность к разжижению при сейсмических воздействиях (СП 14.13330.2018, таблица 4.1)

Сложными инженерно-геологическими условиями, как отмечалось выше, характеризуется береговое примыкание трубопровода (губа Опасова). Но и здесь, как показали расчеты, несмотря на наличие песчаных грунтов и повышенную сейсмичность, при сейсмических нагрузках, характерных для Мурманской зоны ВОЗ, разжижение песчаных грунтов по данным СРТ не происходит.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы относительно разжижаемости изученных грунтов:

1. Как волновые, так и реликтовые водно-ледниковые песчаные грунты, распространенные в губе Опасова, соответственно средней крупности, плотные и средней плотности и пески пылеватые, плотные при заданном сейсмическом воздействии ($a_{max} = 1,86 \text{ м/с}^2$) в целом можно квалифицировать как неразжижаемые. Однако на участках их повышенной мощности (6–10 м и более [17]) в результате резонансного усиления колебаний возможно проявление их нелинейных свойств. На склонность песчаных грунтов к разжижению косвенно указывает значение сейсмического потенциала разжижения (Q);

2. Учитывая особенности батиметрии участка берегового примыкания трубопровода (мелководье), рекомендуется, в случае возобновления проектно-изыскательской работ по Штокмановскому проекту, выполнить оценку устойчивости песков в условиях волновых (штормовых) нагрузок;

3. Преобладающие в разрезе связные грунты, судя по их скоростным характеристикам, также, возможно, подвержены разжижению при динамических нагрузках. Для точной оценки разжижаемости этих грунтов необходимо провести их лабораторные испытания методом динамического трехосного сжатия.

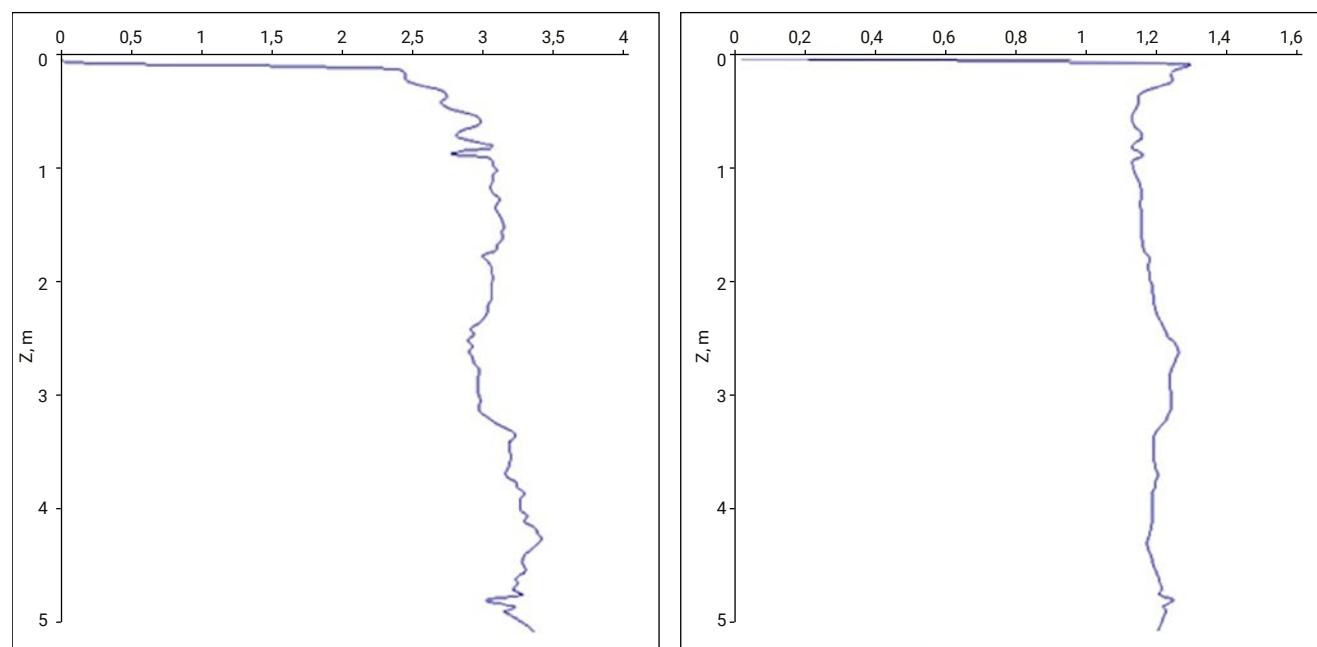


Рис. 6. Типичный пример вариаций индекса типа грунта (I_c) и потенциала разжижения (F_1) в точке зондирования СРТ по трассе трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аптикаев Ф. Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях (сейсмические воздействия): дис. док. физ.-мат. наук. М.: ОИФЗ, 2001. 263 с.
2. Аптикаев Ф. Ф., Копничев Ю. Ф. Учет механизма очага землетрясения при прогнозе параметров сильных движений // Доклады АН СССР, 1979. Т. 247. С. 822–825.
3. Вознесенский Е. А. Динамические испытания грунтов. Состояние вопроса и стандартизация // Инженерные изыскания, 2013. № 5. С. 20–26.
4. Вознесенский Е. А., Кушнарева Е. С. Сейсмическая разжижаемость грунтов: инженерная оценка и классифицирование // Инженерная геология, 2012. № 2. С. 11–23.
5. Вознесенский Е. А., Коваленко В. Г., Кушнарёва Е. С., Фуникова В. В. Разжижение грунтов при циклических нагрузках. М.: Изд-во МГУ, 2005. 134 с.
6. Лаптева Т. И., Мансуров М. Н., Чумарин Д. Х., Копеева Л. А. Устойчивость морских трубопроводов, находящихся в донных грунтах, подверженных явлению разжижения // Газовая промышленность, 2011. № 13. С. 98–101.
7. Миронюк С. Г. Опыт сейсмического микрорайонирования морского и сухопутных участков трассы газопровода Джубга — Лазаревское — Сочи // ГеоИнжиниринг, 2011. № 3. С. 66–73.
8. Миронюк С. Г., Манжосов С. В., Ионов В. Ю. Оценка разжижаемости грунтов на площадках строительства подводных трубопроводов и добычного комплекса в районах северо-западного и северо-восточного шельфа о. Сахалин // Инженерные изыскания, 2011. № 6. С. 6–14.
9. Миронюк С. Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования // Вести газовой науки, 2015. № 2. С. 113–117.
10. Миронюк С. Г. Береговые примыкания морских газопроводов: выбор технологии строительства с учетом оценки геологических опасностей // Тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции «Газотранспортные системы: настоящее и будущее (GTS-2015)», Москва, 28–29 октября 2015 года. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. С. 31.
11. Миронюк С. Г., Озмидов О. Р. Опыт оценки динамической устойчивости грунтов оснований объектов инфраструктуры морского порта Темрюк // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. М.: 2015. С. 166–171.
12. Миронюк С. Г., Озмидов О. Р. Из опыта оценки сейсмической разжижаемости грунтов оснований якорей полупогружных буровых установок с помощью динамических трехосных испытаний // Инженерные изыскания, 2016. № 2. С. 18–23.
13. Миронюк С. Г., Кропоткин М. П. Возможный механизм и причины образования Утришских оползней суши и шельфа (полуостров Абрау) // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов (Опасные явления — II). ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, 2020. С. 52–57.
14. Новиков А. И., Новиков А. А., Голубин С. И., Савельев К. Н. Особенности проведения инженерных изысканий при определении потенциала разжижения грунтов в основании объектов морской добычи шельфа острова Сахалин (Россия) // Газовая промышленность, 2018. № 3 (765). С. 18–25.
15. Оскорбин Л. С., Поплавский А. А., Стрельцов М. И. и др. Нефтегорское землетрясение 27 (28) мая 1995 года ($M_w=7,1$) // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году, 2001. С. 170–182.
16. Чернов Ю. К., Чернов А. Ю. Сейсмогенное разжижение грунтов (предварительные оценки для некоторых участков территорий Дальнего Востока и Юга России) // Инженерная геология, 2007. № 12. С. 34–44.
17. Штейнберг В. В. Колебания грунта при землетрясениях // Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 31. М.: Наука, 1990. С. 47–67.
18. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие) // Вопросы инженерной сейсмологии, 1993, вып. 34. М.: Наука. С. 5–94.
19. Robertson P. K. Performans Based Earthquake Design Using the CPT. Keynote Lecture., IS-Tokyo, June 2009.
20. Youd, T. L., Idriss, I. M., Robertson, P. K., et al. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, vol, 127, October 2001. P. 817–833.