

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕНЦИАЛА РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ДОБЫЧИ ШЕЛЬФА ОСТРОВА САХАЛИН (РОССИЯ)

УДК 624.131:006.354

А.И. Новиков, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ),

A.Novikov@adm.gazprom.ru

А.А. Новиков, ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск» (Москва, РФ)

С.И. Голубин, к.т.н., ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (Москва, РФ)

К.Н. Савельев, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», K_Saveliev@vniigaz.gazprom.ru

На шельфе о. Сахалин (Россия) ведется активная работа по освоению запасов углеводородов. При подготовке к освоению лицензионных участков особое внимание должно уделяться обеспечению эксплуатационной надежности объектов обустройства на протяжении всего жизненного цикла. Эксплуатационная надежность и устойчивость сооружений морской добычи в значительной мере зависят от достоверных данных об инженерно-геологических условиях, прочностных, деформационных и специфических свойствах донных отложений, которые, в свою очередь, влияют на выбор надежных технических и проектных решений.

Особое внимание в ходе инженерных изысканий необходимо уделять исследованию мелкодисперсных водонасыщенных донных отложений, проявляющих динамическую неустойчивость при сейсмических воздействиях. Эффект динамической неустойчивости донных грунтов при сейсмических воздействиях может характеризоваться исчезновением в грунте эффективных напряжений (разжижение) либо накоплением значительных деформаций. В статье рассматривается необходимость выявления рисков, связанных с сейсмической активностью, а именно необходимость и особенности проведения комплекса специальных инженерных изысканий, направленных на оценку устойчивости донных отложений при землетрясениях различной интенсивности. Описаны опасные геологические процессы, представляющие потенциальную угрозу для устойчивости сооружений морской добычи и подводных трубопроводов, такие как подводные оползни и крипы. Эффект латерального растекания грунта при его сейсмическом разжижении может стать триггером их проявления. Для безаварийной эксплуатации месторождений необходимы распознавание, локализация, параметрическое описание, прогноз развития и мониторинг потенциальных геологических опасностей, так как при проявлении они могут оказать негативное влияние и привести к потере устойчивости сооружений морской добычи и подводных трубопроводов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫЕ ГРУНТЫ, СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЗЖИЖЕНИЕ ГРУНТОВ, ПОТЕНЦИАЛ РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТОВ, СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГРУНТОВ, ПОДВОДНЫЙ ДОБЫЧНОМ КОМПЛЕКС, ПОДВОДНЫЙ ТРУБОПРОВОД, ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСТЕКАНИЕ ГРУНТА, КРИП, ПОДВОДНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ.

Лицензионные участки Сахалинского шельфа, на одном из которых в 2014 г. была начата промышленная добыча, являются уникальными для российской инженерной практики. Здесь впервые в Российской

Федерации реализована технология подводной добычи. Предусмотрены подводное заканчивание скважин и подводная система сбора с последующей транспортировкой добываемой продукции до берегового тех-

нологического комплекса без использования в технологической цепочке плавучих и гравитационных платформ и иных надводных сооружений. При обустройстве перспективных месторождений применение тех-

Novikov A.I., Gazprom PJSC (Saint Petersburg, Russian Federation), A.Novikov@adm.gazprom.ru

Novikov A.A., Gazprom добыча shelf Yuzhno-Sakhalinsk LLC (Moscow, Russian Federation)

Golubin S.I., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom VNIIGAZ LLC (Moscow, Russian Federation)

Saveliev K.N., Gazprom VNIIGAZ LLC, K_Saveliev@vniigaz.gazprom.ru

Specific features of engineering surveys in determining the potential of the soil liquefaction in the basis of the facilities of offshore production on the Sakhalin shelf (Russian Federation)

Active work is being conducted on developing hydrocarbon reserves on the Sakhalin shelf (Russian Federation). In preparing for the development of license blocks, special attention should be paid to ensuring the operational reliability of the facilities during the entire life cycle. The operational reliability and stability of offshore production facilities significantly depend on reliable data on the engineering and geological conditions, the mechanical, deformation and specific properties of seafloor sediments, which in turn influence the choice of reliable engineering and design solutions.

Particular attention during engineering surveys should be given to the study of finely dispersed saturated seabed sediments exhibiting dynamic instability under seismic load. The effect of dynamic instability of bottom soils under seismic load can be characterized by the disappearance of effective stresses (liquefaction) in the soil or by the accumulation of significant deformations.

The article discusses the need to identify the risks associated with seismic activity, in particular the need and special features of a special engineering survey complex, aimed at assessing the stability of seabed soils in earthquakes of different intensity.

Geological processes posing a potential hazard to the stability of offshore production facilities and subsea pipelines, such as subsea landslides and creeps, are described. These geological processes can be triggered by the effect of lateral spread of the soil during its seismic liquefaction.

For accident-free operation of the fields, it is necessary to conduct recognition, localization, parametric description, expected development, and monitoring of potential geological hazards. Thus, these factors can have a negative impact and lead to loss of stability in offshore production facilities and subsea pipelines.

KEYWORDS: ENGINEERING SURVEY, DYNAMICALLY UNSTABLE SOILS, SEISMIC SOIL LIQUEFACTION, SOIL LIQUEFACTION POTENTIAL, CONE PENETRATION TEST, SUBSEA PRODUCTION COMPLEX, SUBSEA PIPELINE, LATERAL SOIL SPREAD, CREEP, UNDERWATER LANDSLIDE.

нологии подводной добычи газа с использованием подводного добычного комплекса (ПДК) также может быть актуальным.

На текущем этапе подготовки к освоению лицензионных участков наиболее значимым является обеспечение эксплуатационной надежности объектов обустройства на протяжении всего жизненного цикла.

Лицензионные участки ПАО «Газпром» расположены в Охотском море на северо-восточном шельфе о. Сахалин, в 60 км к востоку от береговой линии, на широте Лунского залива. Размещение объектов подводной добычи предполагается на глубине 100–400 м. С севера перспективные участки ограничиваются линией на широте южной границы Набильского залива, с юга – на траверсе устья р. Нампи. Восточная граница участков проходит примерно по изобате 400 м и удалена от береговой линии на расстояние около 75 км.

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

Освоение этих лицензионных участков осложнено природно-климатическими условиями и геологическим строением. Геологические опасности обусловлены эндогенными и экзогенными процессами. Анализ материалов изысканий, выполненных в рамках проектов обустройства месторождений и работ по идентификации и систематизации геологических опасностей восточного шельфа о. Сахалин [1], показал, что для рассматриваемых площадей можно выделить следующие природные опасности:

- литодинамические процессы переформирования морского дна и ледовая экзарация в береговой зоне;
- газонасыщенные грунты, газовые карманы с аномально высоким пластовым давлением;
- сейсмическая активность.

Наибольшую опасность в период эксплуатации месторождений

представляет сейсмическая активность региона.

На рис. 1 представлена схема региональной геотектоники района по данным работы [2]. Лицензионные участки расположены в сложных геодинамических условиях Охотской плиты в шельфовой части акватории Охотского моря. В литературе нет единого взгляда на сеймотектонику района, но в целом можно считать Охотское море структурой с переходным от континентального к океаническому типу земной коры. По сейсмологическим данным прослежено погружение Охотской плиты под материк до 700 км. Субдукция проходит примерно на 400–500 км южнее лицензионных участков. Сильнейшие землетрясения приурочены к океаническому желобу, маркирующему начало погружения океанической плиты. Обособленным кластером можно выделить глубокие землетрясения в Охотском море к западу от п-ова Камчатка. В окрестностях

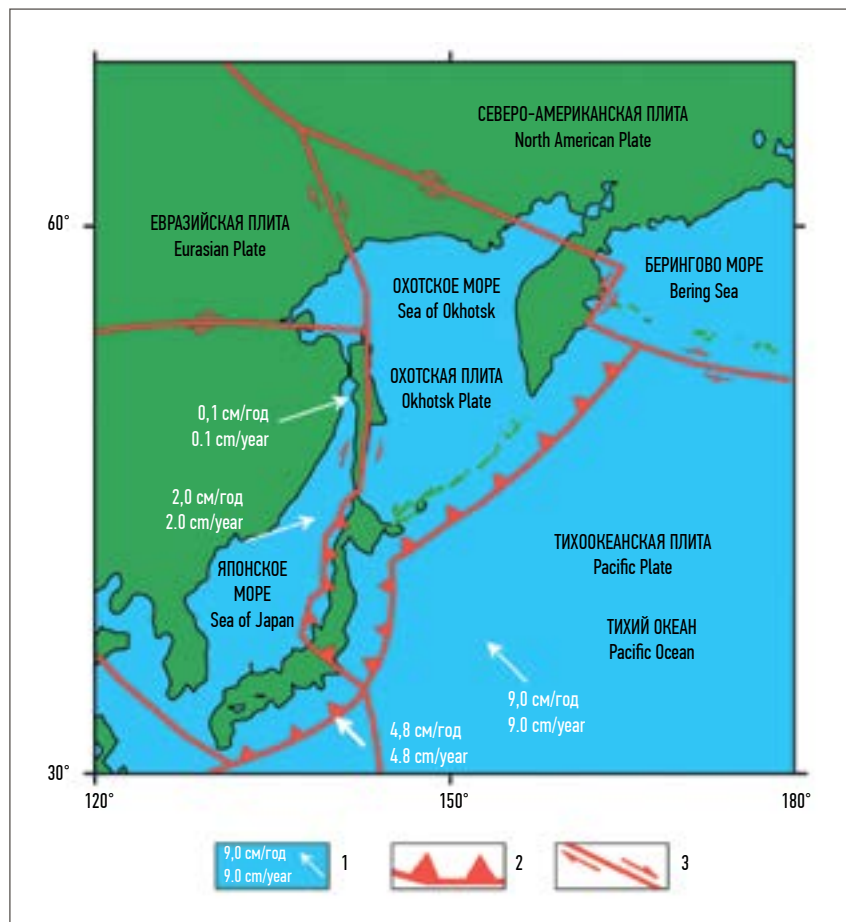


Рис. 1. Тектоническая схема региона Охотского моря: 1 – скорость движения плит по данным GPS; 2 – зоны субдукции; 3 – разломы (по данным [2])
Fig. 1. Tectonic scheme of the Sea of Okhotsk region: 1 – speed of plates according to the Global Positioning System data; 2 – subduction zones; 3 – faults (according to [2])

лицензионных участков наиболее сильным было Нефтегорское землетрясение (моментная магнитуда $M_w = 7,1$), произошедшее 27 мая 1995 г. на севере Сахалина на границе Охотоморской и Евразийской плит.

Исходный (нормативный) уровень сейсмичности рассматриваемого района в соответствии с картами ОСР-2015 [3] оценивается 9 баллами (по картам А, В) и 10 баллами (по карте С) шкалы MSK-64 (шкала Медведева – Шпонхойера – Карника).

В целях уточнения исходной сейсмичности и детальной оценки сейсмической опасности по заказу дочерних компаний ПАО «Газпром» Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН в 2016 г. для рассматриваемой площади было выполнено сейс-

мическое микрорайонирование (СМР). По данным СМР, итоговая сейсмическая интенсивность по шкале MSK-64 для интервала времени 50 лет, учитывающая фактические грунтовые условия, оказалась ниже исходной (нормативной) и составила:

- 5,9–7,6 баллов с вероятностью превышения значений сейсмической интенсивности $P = 10 \%$;
- 6,1–7,8 баллов по шкале MSK-64 с $P = 5 \%$;
- 6,8–8,1 баллов по шкале MSK-64 с $P = 1 \%$.

Несмотря на снижение итоговой сейсмичности по отношению к картам ОСР-2015, выполненное СМР подтвердило тот факт, что освоение лицензионных участков осложняется сейсмической активностью района. Существующие сейсмические риски необ-

ходимо учитывать при проектировании особо опасных, технически сложных и уникальных объектов, к которым с уверенностью можно отнести подводные объекты обустройства. Международный опыт освоения морских месторождений углеводородов как с надводной (платформы различного типа), так и с подводной схемой обустройства (ПДК) показывает, что общая устойчивость объектов и эксплуатационная надежность при сейсмических воздействиях определяется устойчивостью их фундаментных конструкций и опорных оснований, зависящей от грунтовых условий.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

По данным изысканий, грунтовая толща лицензионных участков, залегающая до глубин 30–40 м от морского дна, сложена морскими песчано-глинистыми отложениями четвертичной (mQ_{IV}) и неогеновой (нутовская свита N_{1-2nt}) систем. Выделение геологических элементов и классификация грунтов выполнялись по результатам статического зондирования (СРТ – cone penetration testing) с использованием корреляционных зависимостей, номограмм и методики, предложенной П.К. Робертсоном и Р.Г. Кампанеллой [4, 5]. Сверялись классификационные показатели, полученные по данным СРТ и по результатам лабораторных определений для тех же грунтов по ГОСТ 25100–2011 [6]. В прибрежной зоне в верхней части донных отложений преобладают пески различной крупности (от пылеватой до гравийной фракции), перекрывающие глины, суглинки и супеси коренного основания. По мере удаления от берега мощность толщи песков закономерно уменьшается с 8–10 до 2–5 м, а на расстоянии 45–50 км от берега песчаные отложения на поверхности не наблюдаются. Прослой гравийного и крупнозернистого песка встречаются, как правило, не далее 10 км от берега. На расстоянии 50–60 км от береговой

линии верхняя часть разреза, вскрытая на глубину 30–40 м, представлена глинами и суглинками. Ближе к берегу глины и суглинки залегают с глубины 20–25 м. Результаты выполненных инженерных изысканий указывают на широкое распространение в пределах рассматриваемой площади мелко- и среднезернистых песков среднеплейстоценового-голоценового возраста. Глинистые грунты представлены преимущественно текучими, текучепластичными, мягкопластичными суглинками. Также в пределах исследованной площади были выявлены специфические грунты, сложенные глинистыми и суглинистыми илами текучей консистенции с примесью органики до 6 %. Глинистые донные отложения и илы характеризуются низкой прочностью и сильной сжимаемостью с ярко выраженной пространственной анизотропией прочностных и деформационных свойств.

Помимо низкой прочности, характерной для донных морских отложений в данном регионе, в соответствии с СП 14.13330.2014 [3] такие грунты с большой вероятностью склонны к разжижению и потере прочности при землетрясениях интенсивностью более 6 баллов по шкале MSK-64. При этом возможность использования грунтов, потенциально склонных к разжижению, в качестве основания технологических и промышленных трубопроводов, опорных плит и фундаментных конструкций под функциональные элементы и оборудование объектов подводной добычи требует дополнительных исследований.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВ

В целях оценки риска разжижения и возможной потери прочности грунтов при сейсмических воздействиях в рамках проводимых морских изысканий по заказу дочерних компаний ПАО «Газпром» были выполнены циклические стабилметриче-

ские испытания. В дополнение к прямым испытаниям грунтов в динамических стабилметрах (приборах трехосного сжатия) была осуществлена оценка динамической устойчивости грунтов путем интерпретации данных статического зондирования.

Оценка динамической устойчивости грунтов при сейсмических воздействиях основана на методике, предложенной Х.Б. Сидом и И.М. Идрисом в 1971 г. [7], и с незначительными усовершенствованиями [8] широко используется в геотехнической практике, а с недавнего времени отражена в ГОСТ Р 56353–2015 [9].

Динамическая устойчивость грунтов, подверженных сейсмическим воздействиям, характеризуется циклическим сопротивлением сдвигу τ_r и количеством циклов нагружения, необходимых для того, чтобы вызвать эффект разжижения или разрушения грунта.

Для количественной характеристики динамической устойчивости грунтов используется параметр циклической сдвиговой прочности

$$R = \frac{\tau_a}{2\sigma'_d} = \frac{[\text{Cyclic Stress Ratio}]}{2D_r}, \quad (1)$$

где τ_a – циклическое напряжение сдвига; σ'_d – среднее эффективное напряжение; D_r – относительная плотность грунта (отношение плотности грунта к плотности частиц); [Cyclic Stress Ratio] – приведенное циклическое сдвиговое напряжение.

Параметр R для песков оценивается по эмпирической формуле:

$$R = 0,3221 - 0,0304 \ln N_L. \quad (2)$$

Число циклов N_L , необходимых для создания условий разжижаемости в слое песка, получают из результатов циклических стабилметрических опытов.

Число циклов колебаний, вызванных землетрясением, зависит от магнитуды землетрясения M . Эквивалентное число циклов нагружения, соответствующее

длительности землетрясения магнитудой M , вычисляется по формуле:

$$N_{eq} = 106,08 - 36,42M + 3,312M^2. \quad (3)$$

По вычисленному таким способом эквивалентному числу циклов нагружения, соответствующему магнитуде, относительной плотности грунта и среднему эффективному напряжению, вычисляется циклическое сопротивление сдвигу на заданной глубине по формуле:

$$\tau_r = 2D_r \sigma'_v (0,3221 - 0,0304 \ln N_{eq}), \quad (4)$$

где $\sigma'_v = \sigma'_v (1 + K_0)/2$; σ'_v – эффективное вертикальное напряжение на глубине Z с учетом взвешивающего действия воды и предполагаемого давления от сооружения; K_0 – коэффициент бокового давления грунта.

Под циклическим сопротивлением сдвигу τ_r в данном случае необходимо понимать сопротивление сдвигу, которое должен оказывать сохраняющий свою сплошность грунт сдвиговым напряжениям, возникающим во время землетрясения с магнитудой M .

Если известны максимальные ускорения в поверхностных слоях грунта в условиях прогнозируемого землетрясения a_{max} , циклическое напряжение сдвига вычисляется по полуэмпирической формуле с введенной в нее поправкой на деформируемость слоя грунта:

$$\tau_a = 0,65 \sigma'_1 \frac{a_{max}}{g} r_d, \quad (5)$$

где σ'_1 – полное вертикальное (осевое) напряжение; g – ускорение силы тяжести; r_d – коэффициент редукации (ослабления) напряжений с глубиной, учитывающий гибкость колонки грунта.

На основе сопоставления циклического сопротивления сдвигу τ_r и циклического напряжения сдвига τ_a при $\tau_a \geq \tau_r$ делается вывод о потенциальной возможности

Грунты, неустойчивые к сейсмическим воздействиям заданной интенсивности
Soils unstable to seismic load of the specified intensity

Грунт, мQIV Soil, mQIV	Глубина отбора, м Depth of extraction, m	Приведенное поровое давление Reduced pore pressure	Накопленная осевая деформация образца ϵ , % Accumulated axial strain of the sample ϵ , %
Ил глинистый текучий с примесью органики Very soft organic silt	0,1–1,8	0,784–0,831	6,2–6,4
Глина текучая с примесью органики Organic clay with high plasticity	3,3–4,5	0,823–0,883	5,7–6,5
Песок мелкий, рыхлый, водонасыщенный Saturated fine sand	1,0–7,0	0,943–0,978	5,6–5,9
Песок среднезернистый, средней уплотненности, водонасыщенный Saturated medium sand	2,0	0,978	5,8

разжижения грунта при землетрясении заданной магнитуды M . Проведенные циклические стабиллометрические испытания учитывали сейсмичность района, а именно интенсивность сейсмического воздействия $I = 6,1-7,8$ балла по шкале MSK-64 и магнитуду $M = 5,5$, установленные для периода повторяемости $T = 1000$ лет по данным СМР.

При проведении испытаний факт разжижения фиксировался по достижении величины приведенного порового давления ≥ 1 , либо по прохождении траектории эффективных напряжений через начало координат ($\sigma' = 0, q = 0$), где q – касательные напряжения, либо по достижении 5%-ной осевой деформации ϵ . В таблице представлены результаты циклических трехосных испытаний грунтов, оказавшихся неустойчивыми к сейсмическим воздействиям заданной интенсивности.

Характерно, что динамическую неустойчивость при сейсмических воздействиях заданной интенсивности проявили образцы грунта, отобранные из верхней части разреза – в пределах 6–7-метровой толщи.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты интерпретации данных СРТ достаточно хорошо согласуются с результатами

прямых определений динамической устойчивости грунтов, выполненных в динамических стабиллометрах. Динамические стабиллометрические испытания являются дорогими и времязатратными, поэтому перед их проведением целесообразно выполнять оценку сейсмической разжижаемости грунта по данным статического зондирования. При оценке сейсмической разжижаемости грунтов полевыми методами [10] определяется коэффициент безопасности [Factor of Safety], соответствующий потенциалу разжижения песков F_L , отраженному в ГОСТ 25100–2011 [6]. Коэффициент безопасности вычисляется с использованием формулы:

$$[\text{Factor of Safety}] = \frac{[\text{Cyclic Resistance Ratio}_{M=7,5}]}{[\text{Cyclic Stress Ratio}]} \times [\text{Magnitude Scaling Factor}], \quad (6)$$

где $[\text{Cyclic Resistance Ratio}_{M=7,5}]$ – показатель циклического сопротивления сдвигу, приведенный к магнитуде $M = 7,5$ и определяемый по данным статического зондирования; $[\text{Magnitude Scaling Factor}]$ – масштабный фактор магнитуды M , принимаемый $[\text{Magnitude Scaling Factor}] = 174/M^{2,56}$.

При классификации дисперсные грунты следует разделять на три категории:

- разжижаемые при $[\text{Factor of Safety}] \leq 1,15$;
- неразжижаемые при $[\text{Factor of Safety}] \geq 1,15$;
- возможно, чувствительные к сейсмическим нагрузкам и требующие лабораторного изучения на образцах ненарушенного сложения (например, водонасыщенные пылеватые и глинистые грунты).

Полевые методы оценки динамических свойств грунтов базируются на эмпирических корреляционных зависимостях между непосредственно измеряемыми характеристиками грунтов в массиве и их сопротивлением разжижению без моделирования ожидаемых сейсмических воздействий в массиве, т. е. без проведения собственно эксперимента по динамическому нагружению грунта [11]. Эти методы в принципе позволяют количественно оценивать сейсмическую разжижаемость водонасыщенных грунтов, но порядок определения этого показателя не предусмотрен ни одним из действующих российских стандартов.

Проведенные исследования подтвердили наличие в пределах изученной площади грунтов, склонных к разжижению, что недопустимо для безопасной экс-

плутации объектов подводной добычи. При технологической необходимости, заключающейся, например, в разбуривании месторождения по эффективной схеме расположения эксплуатационных скважин, с вынужденным размещением объектов подводной добычи на участках, сложенных неустойчивыми грунтами, необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие устойчивость и эксплуатационную надежность объектов ПДК. К таким мероприятиям можно отнести следующие инженерно-технические приемы:

- прорезка толщи неустойчивых грунтов сваями-оболочками большого диаметра;
- преобразование строительных свойств неустойчивых грунтов путем замены, уплотнения или закрепления.

Международный опыт обустройства морских месторождений в сложных грунтовых условиях показывает, что наиболее предпочтительным является применение стальных свай-оболочек кессонного типа (bucket



Рис. 2. Стальная свая-оболочка кессонного типа, общий вид
Fig. 2. Steel suction pile, general view

piles, suction piles), на которые (рис. 2, 3) впоследствии будут монтироваться опорные фундаментные конструкции под подводное технологическое оборудование, манифольды, оборудование автоматизированной системы управления технологическим процессом, распределительные устройства шлангокабелей и дру-

гие функциональные элементы ПДК.

Применение инженерно-технических приемов в виде замены или укрепления неустойчивых грунтов не исключено, но при глубинах 100–400 м на рассматриваемом участке акватории, учитывая суровые условия Охотского моря, качественное выполнение таких работ весьма затруднительно.

Для подводных трубопроводов и шлангокабелей также необходимо учитывать риски, связанные с возможным разжижением донных грунтов при сейсмических воздействиях. Основной опасностью для трубопроводов является латеральное растекание грунта, которое представляет собой боковую подвижку на расстояние до нескольких метров поверхностных (даже прочных) отложений, подстилаемых разжижаемыми грунтами. В зависимости от глубины залегания разжижаемых грунтов весь вышележащий массив грунта смещается вниз по пологим склонам. Землетрясения могут приводить к активизации и более серьезных гравитацион-



Рис. 3. Оборудование ПДК, установленное на сваях-оболочках кессонного типа
Fig. 3. Subsea production complex equipment installed on suction piles

ных процессов на морском дне. Уже при уклонах до 5° на морском дне могут возникать подводные оползни, триггером для которых способны стать даже слабые землетрясения ($M < 4$). Например, у побережья Норвегии в зоне освоения газового месторождения Ормен Ланге выявлен оползень Стурегга (рис. 4), переместивший 8200 лет назад по склону шельфа около 3300 км^3 литокластических горных пород [13].

Проявление гравитационных процессов наблюдается и на восточном подводном склоне о. Сахалин. В центральной части восточного склона на изобатах 800–1500 м группой исследователей был выявлен и закартирован оползень площадью 42 км^2 и объемом около 4 км^3 , при этом по скорости осадконакопления оползень образовался менее 600 лет назад [14]. На площади лицензионных участков проявление масштабных оползневых процессов маловероятно, но оползни такого расположения и объема способны генерировать локальные цунами на участке побережья до нескольких километров с высотой наката на берег до нескольких метров.

На морском дне в пределах границ лицензионных участков присутствуют признаки крипа – процесса медленного сползания или оплывания толщ донных осадков на относительно пологих склонах [15]. В илистых отложениях наблюдается волнообразный, бугристый рельеф поверхности дна. При незначительных, но достаточных для возникновения крипа уклонах дна это явление могло быть спровоцировано небольшим по интенсивности землетрясением.

Учитывая описанные риски, смещения грунта при латеральном растекании важно исследовать для подводных, особенно заглубленных, трубопроводов, поскольку трубопроводы, пересекающие зоны развития этого явления, могут испытывать значительные продольные и изгиб-

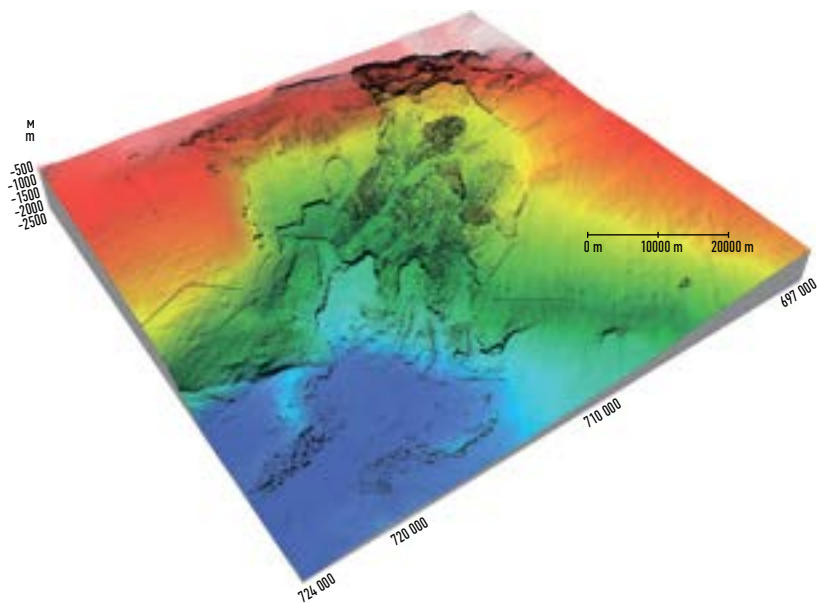


Рис. 4. Оползень Стурегга в Норвежском море, общий вид [12]
Fig. 4. The Storegga Slide in the Norwegian Sea, general view [12]

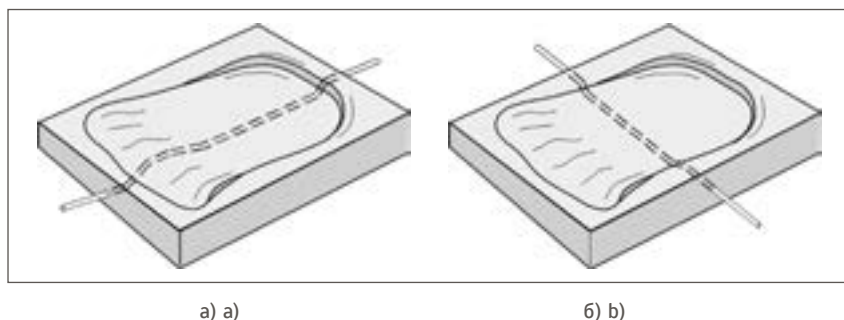


Рис. 5. Возможные деформации трубопровода при латеральном растекании грунта на подводном склоне: а) вдоль оси трубопровода; б) перпендикулярно оси трубопровода
Fig. 5. Possible deformations of the pipeline during lateral spread of the seabed slope: a) along the pipeline axis; b) perpendicular to the pipeline axis

ные деформации в зависимости от направления подвижек грунта (рис. 5).

При пересечении трубопроводом такой зоны необходимо определять длину участка трубопровода в пределах области деформаций, а также направление смещения грунта относительно трассы трубопровода. Такую оценку можно провести по инженерно-геологическим разрезам, зная уровень сейсмических воздействий, удаленность очага предполагаемого землетрясения и используя результаты оценки разжижаемости грунтов в динамических стабиллометрах либо интерпретированные данные

СРТ [16]. При латеральном растекании грунта могут проявляться и оказывать негативное воздействие на трубопровод и другие негативные факторы, такие как усиление колебаний или всплытие трубопровода, просадки грунта с образованием свободных пролетов трубопровода. Тип и степень разрушения грунта зависят от рельефа дна и глубины залегания, мощности и площади распространения разжижаемых грунтов.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ геологических и инженерно-геологических условий района освоения лицензионных участков на

восточном шельфе о. Сахалин, а также сравнительный анализ полевых исследований и лабораторных испытаний грунтов показали наличие грунтов, проявляющих разжижаемость при сейсмических воздействиях. Описаны риски, сопряженные

с потенциально возможным сейсмическим разжижением грунтов, которые необходимо учитывать для обеспечения сейсмостойкости объектов обустройства месторождений. Сделан вывод о целесообразности количественной оценки сейсмической раз-

жижаемости грунтов полевыми методами путем интерпретации данных статического зондирования грунтов (СРТ). Для обоснованной оценки сейсмической разжижаемости грунтов полевыми методами необходима разработка нормативных документов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Миронюк С.Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования // Вести газовой науки. 2015. № 2 (22). С. 113–117.
2. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Сергеева Н.А. Глубинное строение сейсмоопасных регионов Земли (о-в Сахалин) // Вестник ОНЗ РАН. 2014. Т. 6. NZ1001 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://onznews.wdcb.ru/publications/v06/2014NZ000121/2014NZ000121.pdf> (дата обращения: 25.01.2018).
3. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200111003> (дата обращения: 25.01.2018).
4. Robertson P.K., Campanella R.G. Interpretation of Cone Penetration Tests. Part I (Sand) // Canadian Geotechnical Journal. 1983. Vol. 20. № 4. P. 718–733.
5. Robertson P.K., Campanella R.G. Interpretation of Cone Penetration Tests. Part II (Clay) // Canadian Geotechnical Journal. 1983. Vol. 20. № 4. P. 734–745.
6. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартиформ, 2013. 38 с.
7. Seed H.B., Idriss I.M. Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1971. Vol. 97. № SM9. P. 1249–1273.
8. Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., et. al. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2001. Vol. 127. Iss. 10. P. 817–833.
9. ГОСТ Р 56353–2015. Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118271> (дата обращения: 25.01.2018).
10. Robertson P.K., Wride C.E. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test // Canadian Geotechnical Journal. 1998. Vol. 35 (3). P. 442–459.
11. Вознесенский Е.А. Динамические испытания грунтов. Состояние вопроса и стандартизация // Инженерные изыскания. 2013. № 5. С. 20–26.
12. Wille P. Sound Images of the Ocean in Research and Monitoring [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://extras.springer.com/2005/978-3-540-24122-5/data> (дата обращения: 25.01.2018).
13. Hafliðason H., Sejrup H.P., Nygard A., et al. The Storegga Slide: Architecture, Geometry and Slide Development // Marine Geology. 2004. Vol. 213. Iss. 1–4. P. 201–234.
14. Баранов Б.В., Дозорова К.А., Рукавишникова Д.Д. Активная тектоника и образование оползневых тел на восточном склоне о. Сахалин // Вестник Мурманского гос. техн. ун-та. 2016. Т. 19. № 1/1. С. 61–69.
15. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Изд-во МГУ, Наука, 2006. 416 с.
16. Youd T.L. Liquefaction-induced Lateral Ground Displacement // Proceedings of the Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. St Louis: Missouri University of Science and Technology, 1995. Vol. II. P. 911–925.

REFERENCES

1. Mironyuk S.G. Geological Hazards of the Developed Deposits of the Eastern Shelf of Sakhalin Island: Identification and Principles of Mapping. Nauchno-tehnicheskii sbornik "Vesti gazovoy nauki" = Scientific-Technical Collection Book "Vesti Gazovoy Nauki", 2015, No. 2 (22), P. 113–117. (In Russian)
2. Rodnikov A.G., Zabarinskaya L.P., Sergeeva N.A. Deep Structure of the Earth's Seismic Regions (Sakhalin Island). Vestnik ONZ RAN = Bulletin of the Earth Sciences Branch of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 6, NZ1001 [Electronic source]. Access mode: <http://onznews.wdcb.ru/publications/v06/2014NZ000121/2014NZ000121.pdf> (access date: January 25, 2018). (In Russian)
3. Code Specification SP 14.13330.2014. Seismic Building Design Code [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200111003> (access date: January 25, 2018). (In Russian)
4. Robertson P.K., Campanella R.G. Interpretation of Cone Penetration Tests. Part I (Sand). Canadian Geotechnical Journal, 1983, Vol. 20, No. 4, P. 718–733.
5. Robertson P.K., Campanella R.G. Interpretation of Cone Penetration Tests. Part II (Clay). Canadian Geotechnical Journal, 1983, Vol. 20, No. 4, P. 734–745.
6. State Standard GOST 25100–2011. Soils. Classification. Moscow, Standartinform, 2013, 38 p. (In Russian)
7. Seed H.B., Idriss I.M. Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1971, Vol. 97, No. SM9, P. 1249–1273.
8. Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., et. al. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001, Vol. 127, Iss. 10, P. 817–833.
9. State Standard GOST R ISO 56353–2015. Soils. Laboratory Methods for Determination of Soil Dynamic Properties [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200118271> (access date: January 25, 2018). (In Russian)
10. Robertson P.K., Wride C.E. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test. Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35 (3), P. 442–459.
11. Voznesensky E.A. Dynamic Testing of Soils. The Status of This Question and Standartization. Inzhenernie Izyskaniya = Engineering Surveys, 2013, No. 5, P. 20–26. (In Russian)
12. Wille. P. Sound Images of the Ocean in Research and Monitoring [Electronic source]. Access mode: <http://extras.springer.com/2005/978-3-540-24122-5/data> (access date: January 25, 2018).
13. Hafliðason H., Sejrup H.P., Nygard A., et al. The Storegga Slide: Architecture, Geometry and Slide Development. Marine Geology, 2004, Vol. 213, Iss. 1–4, P. 201–234.
14. Baranov B.V., Dozorova K.A., Rukavishnikova D.D. Active Tectonics and Origin of Landslides on the Eastern Sakhalin Slope. Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Murmansk State Technical University, 2016, Vol. 19, No. 1/1, P. 61–69. (In Russian)
15. Rychagov G.I. General Geomorphology. Moscow, Publishing House of the Moscow State University, Nauka, 2006, P. 416. (In Russian)
16. Youd T.L. Liquefaction-induced Lateral Ground Displacement. Proceedings of the Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. St Louis, Missouri University of Science and Technology, 1995. Vol. II, P. 911–925.