

УДК 622.276.1/4.04(262.81)

ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

А.С. Маштаков

(Филиал ООО "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг" "ВолгоградНИПИморнефть")

Введение

Переориентация на освоение морских нефтегазовых месторождений – одно из наиболее значимых направлений формирования современной нефтегазодобывающей индустрии мира. В связи с растущими потребностями человечества в энергии и сырье, существенным истощением материковых ресурсов все более актуальной задачей становится освоение морских нефтегазовых место-

рождений, которое является одним из максимально небезопасных видов человеческой деятельности.

Морские нефтегазопромысловые сооружения (МНГС) относятся к опасным производственным объектам и характеризуются высокой аварийностью. Поэтому необходимо проводить комплексную экспертизу критериев определения вероятных последствий от аварий и технических проектов, а также стремиться к созданию сбалансированной совокупности проект-

ных, нормативных положений, технических, практических мероприятий и организационных решений при освоении и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений.

К составляющим общей угрозы безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений отнесены: опасные процессы в геологической среде (в том числе эндогенные и экзогенные процессы); экстремальные гидрометеорологические факторы; ошибки на всех этапах освоения морских нефтегазовых месторождений (инженерные изыскания, проектирование и т. п.); нештатные технологические процессы; опасности техногенного происхождения и др. В силу весьма значительной пространственной изменчивости грунт по степени "вредности" находится на первом месте, среди других природных факторов на втором месте стоит лед, на третьем – волна, течение и ветер. Такие факторы, как динамические нагрузки при ледовых, волновых, сейсмических взаимодействиях (в Каспийском море возможны землетрясения, сейсмичность которых может достигать 9 баллов (с учетом категории грунтов по сейсмическим свойствам – до 10 баллов)), а также негативное влияние свободного газа на грунты создают потенциальный риск в районах интенсивной нефтегазодобычи в Каспийском море.

Неверные заключения инженеров являются причиной возникновения аварийных деформаций оснований нефтегазопромысловых сооружений и буровых установок. Поэтому в данной статье приведены некоторые аспекты инженерно-геологических опасностей, приняв которые в проектировании, можно избежать аварийности вышеперечисленных инженерных сооружений.

В настоящее время исследователи обсуждают на различных конференциях проблему, связанную с присутствием опасного свободного газа в верхней части грунтов в разных регионах шельфа и материковых областей. Следует заметить, что проблема наличия свободного газа в морских грунтах широко освещена в зарубежной литературе.

Проблема выбора методов анализа для оценки геологических рисков в настоящее время является весьма актуальной. Анализ риска чрезвычайно важен на стадии концептуального проектирования и технико-экономического обоснования обустройства месторождений. Зачастую в проектах требуется выявить и оценить данные риски.

Целью исследования является оценка влияния опасных факторов, влияющих на устойчивость морских инженерных сооружений.

Методика исследований. Для решения поставленных задач использовались методы сравнительного анализа и обобщения, математической статистики, методы анализа и оценки надежности инженерных объектов (с использованием лицензирован-

ных программных обеспечений ПО Plaxis (основанного на методе конечных элементов по теории прочности грунта в условиях сложного напряженного состояния Кулона–Мора)).

1. Влияние опасного "свободного" газа на снижение прочности грунта (понижение физико-механических параметров грунта). Thomas S.D. провел серию одномерных испытаний на уплотнение на восстановленных образцах устьевых илистых глин (комбвичский шлам), сделанных газосодержащими путем добавления метаносодержащих цеолитов. Результаты этих испытаний показали, что начальные приложения нагрузки в недренированных условиях вызвали незамедлительные изменения общего коэффициента пустотности и пустотности по газу. Thomas S.D. отметил, что изменения в объеме газа связаны исключительно с изменениями общего напряжения и не изменяются дренажом воды во время уплотнения [21]. Он также подчеркнул, что поведение структуры почвы зависит от разницы напряжения в грунтах.

Wheeler S.J. пришел к выводу, что воздействие пузырьков газа на недренированную прочность на сдвиг было наиболее разрушительным при низких значениях рабочего напряжения (соответствующих небольшой глубине под морским дном) и высоких значениях общей нагрузки [22–24].

Зарубежный исследователь S. Pietruszczak реализовал программу опытов, состоящую из серии дренированных и недренированных испытаний на трёхосное сжатие на песке. В результате прочность грунтов уменьшилась до ~13 % [17].

Было выявлено, что из-за своей тенденции к расширению плотные пески при сдвиге испытывают падение давления поровой воды, тогда как в условиях полного насыщения это приводит к высокой недренированной прочности, в газосодержащем песке это может вызвать расширение газа, таким образом ограничивая падение давления поровой воды, которое песок может поддерживать до образования пустот.

На основании испытаний на трёхосное сжатие, проведенных на плотном песке, распределение размерности частиц, типичных для песков Северного моря (т. е. D_{50} около 0,14 мм), G.C. Sills показал, что данное воздействие может быть значительным. Например, при испытании песков при давлениях, эквивалентных глубине воды в 40 м, с S_{r0} до 0,99, недренированная прочность уменьшилась до ~60 %, до похожей недренированной прочности, но полностью насыщенных плотных песков [13].

В результате анализа перечисленных выше факторов, а также исследований зарубежных авторов [13–24] автором исследования принято значение понижения прочности грунтов (в процентном отноше-

нии) в результате воздействия на него "опасного мелкозалегающего газа", равное 20 % (это является максимальным из диапазона от 10 до 20 %). Данное значение имеет запас прочности, что приветствуется в проектировании таких ответственных сооружений, как МСП и СПБУ. Следует заметить, что сооружения МНГС имеют I класс ответственности [12], что говорит о больших рисках при их эксплуатации. Поэтому занижение возможных снижений прочностных характеристик грунтов, которые являются основанием МНГС, повлияет на безопасность эксплуатации МСП и СПБУ и, возможно, приведет к аварийным ситуациям. Как говорилось ранее, аварии на таких объектах способны привести к гибели людей и экологической катастрофе. Поэтому, согласно изложенному выше, автор считает обоснованным решением принимать значение понижения прочности грунтов – 20 %. Что касается конкретных параметров грунтов, которые нужно снижать, то этот вопрос нужно рассматривать детально, а также проводить дополнительные исследования. На данном этапе автор считает, что нужно снижать такие прочностные параметры грунта, как: угол внутреннего трения (ϕ , град); сопротивление недренированному сдвигу (S_u , кПа); коэффициент сцепления (c , кПа); модуль деформации (E , МПа).

Конечно, снижение всего перечисленного выше списка прочностных параметров грунта не совсем корректно, но, на данной *стадии изученности*, обоснованность выбора этого списка является приемлемой. Следует заметить, что для проектировщиков принятие снижения всех этих четырех параметров грунта, а не меньше, будет расцениваться, как принятие с запасом.

2. Оценки влияния внешних динамических воздействий на устойчивость МСП и СПБУ. Для платформ, размещаемых в сейсмоопасных зонах (от 6 баллов без учета категории грунтов), российские нормы требуют оценки опасности вероятных динамических процессов. Прежде всего речь идет о возможном разжижении донного грунта. Предпринимаются попытки создания вероятностных моделей в целях прогнозирования разжижений грунтов в случае динамического воздействия [4].

Уровень опасности разжижения несвязных грунтов определяется множеством параметров. Основные из них: относительная плотность, гранулометрический состав грунта и уровень его однородности, а также водопроницаемость, угол внутреннего трения, влажность и прочее. Уровень риска здесь определяется одним из основных факторов – сопротивлением недренированному сдвигу.

К числу периодически проявляющихся динамических воздействий на грунтовое основание относятся землетрясения и циклические нагрузки, воз-

никающие при штормовом волнении моря и от воздействий льда.

Помимо растекания осадков существенную опасность для инженерных сооружений шельфовой зоны (нефтегазопромысловых платформ и СПБУ) представляет неравномерная деформация грунтового основания.

Для возможности учета в расчетах влияния циклической составляющей нагрузки целесообразно проводить испытания грунтов на циклические воздействия.

Оценка влияния динамических воздействий на параметры прочности и деформируемости грунтов основания сооружений также была выполнена путем лабораторных испытаний грунтов при динамических нагрузках. Результаты таких испытаний публиковались ранее [4].

Оценка влияния сейсмических воздействий на прочностные свойства несвязных и слабосвязных грунтов дается по величине расчетного параметра динамической прочности, представляющего собой соотношение значений при динамических и статических нагрузках. Это позволило оценить значение понижения физико-механических параметров грунта Каспийского моря по глубине его залегания. То есть эти данные рекомендуется использовать в расчетах устойчивости сооружений при обустройстве месторождений Каспийского моря [4].

3. Влияние внешних динамических воздействий и "опасного газа" на результаты расчетов несущей способности свайного фундамента МСП и на оценку заглубления опорных колонн СПБУ. В программных комплексах (Plaxis) моделировалось взаимодействие грунтов с сооружениями, к последним прикладывались внешние нагрузки – ветровые, волновые, сейсмические, и получали результаты осадок опорных колонн и свайных оснований сооружений. Результатом данного исследования являлись получение и анализ величин осадок опорных колонн инженерных сооружений на шельфе без снижения физико-механических свойств грунтов и после снижения.

Результаты исследования по снижению физико-механических свойств грунтов (под СПБУ) представлены в табл. 1.

Результаты исследования по снижению физико-механических свойств грунтов (под платформами) представлены в табл. 2.

Из вышеперечисленных результатов исследований (см. табл. 1 и 2) видно, что разница пенетрации (глубин вдавливания) колонн СПБУ и разница осадки свайного основания нефтяных платформ (МСП) после снижения физико-механических свойств грунтов варьируются от 15 до 25 %.

Результаты исследования по снижению физико-механических свойств грунтов (под СПБУ)

Площадка постановки СПБУ	Глубина моря (относительно уровня -28 м БС), м	Значение пенетрации опорных ног СПБУ без снижений физ.-мех. свойств грунта, м	Значение пенетрации опорных ног СПБУ после снижений физ.-мех. свойств грунта, м	Допускаемое значение пенетрации, м	Разница пенетраций, %
Северный Каспий (СПБУ "Астра")					
Западно-Сарматская структура (площадка № 1)	10	1,9	2,4	7	21
Западно-Сарматская структура (площадка № 2)	11	2,0	2,6	7	23
Месторождение Сарматское (площадка № 2)	13	2,0	2,4	7	17
Структура Ракушечная (месторождение им. В. Филановского) (площадка № 5-бис)	6	2,3	2,8	7	18
Структура Ракушечная (месторождение им. В. Филановского) (площадка № 7)	7	2,6	3,1	7	16
Структура Ракушечная (месторождение им. В. Филановского) (площадка № 8)	5	2,2	2,6	7	15
Структура Широкая (месторождение им. Ю. Корчагина) (площадка № 5)	12	2,9	3,5	7	17
Центральный Каспий (СПБУ "Негун")					
Структура Хазри (площадка № 1)	45	7,2	8,7	9	17

Таблица 2

Результаты исследования по снижению физико-механических свойств грунтов (нефтяных платформ)

Площадка постановки СПБУ	Глубина моря (относительно уровня -28 м БС), м	Осадка свайного основания нефтяных платформ без снижений физ.-мех. свойств грунта, мм	Осадка свайного основания нефтяных платформ после снижения физ.-мех. свойств грунта, мм	Допускаемое значение пенетрации, мм	Разница пенетраций, %
Райзерный блок (месторождение им. В. Филановского)	7,4	76	94	100	19
Блок-кондуктор (месторождение им. В. Филановского)	6,9	38	50	100	24
Центральная технологическая платформа (месторождение им. В. Филановского)	7,2	58	78	100	25

4. Выбор аналога площадки со схожими инженерно-геологическими условиями (на примере месторождений на Каспийском море). Было проведено исследование (математическим методом оценена теснота связи между исследуемым новым объектом-аналогом и изученным исходным объектом), тем самым при сильных и умеренных "связях" устанавливается тот факт, что применение метода ИГА к объектам МСП и СПБУ к шельфу Каспийского моря возможно.

То есть сравнивались полученные результаты расчетов (по внешним нагрузкам и по несущей способности, по параметрам свайного фундамента) исследуемого нового объекта-аналога с изученным исходным объектом.

У СПБУ исследуемых новых объектов-аналогов было 4, а у МСП – 2.

Для СПБУ выбран изученный исходный объект – площадка Ракушечная № 5-бис, а для МСП – нефтегазопромысловое сооружение "Райзерный блок". Мак-

симально отдаленный исследуемый новый объект-аналог от изученного исходного объекта расположен на расстоянии 75 км, а глубины объекта-аналога от исходного объекта максимально отличаются в 2 раза.

Следует заметить, что параметры физико-механических свойств грунта были снижены (учитывались циклические воздействия на грунт и влияние на него "опасного свободного газа"), тем самым учитывались опасные геологические процессы и явления.

Следует отметить также то, что объект-аналог – это площадка, на которой сравнивают характеристики грунтов, ведут расчеты по несущей способности грунтов, внешним нагрузкам, характеристикам свайного фундамента и другим взаимодействиям в системе сооружение–грунт с исходным объектом, доказывая возможность применения метода ИГА к объектам МСП и СПБУ на шельфе Каспийского моря.

Для СПБУ внешние нагрузки и несущая способность грунтов рассчитываются согласно Правилам ПБУ/МСП РМРС [9] и РД 51.36-81 "Опорные колонны самоподъемной плавучей буровой установки. Методика расчета глубины задавливания в грунт" [10].

Для МСП внешние нагрузки, несущая способность грунтов и параметры свайного фундамента рассчитываются согласно Правилам ПБУ/МСП РМРС [9] и СП 24.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85) [11].

5. Результаты исследований возможности применения метода ИГА к площадкам, на которых устанавливаются самоподъемные плавучие буровые установки. Количественные критерии оценки тесноты связи представлены в табл. 3.

Результаты расчета (сводные) СПБУ по внешним нагрузкам и по несущей способности с определением характера связи представлены в табл. 4.

Количественные критерии оценки тесноты связи (в % и долях)

№ п/п	Процентное соотношение аналога к исходному объекту	Характер связи
1	До 30 % (до 0,3)	Практически отсутствует
2	30...50 % (0,3...0,5)	Слабая
3	50...70 % (0,5...0,7)	Умеренная
4	70...100 % (0,7...1,0)	Сильная

Из табл. 2 видно, что сходимость аналогов к исходному объекту по внешним нагрузкам и по несущей способности сильная и умеренная. Это означает то, что применение метода ИГА к СПБУ на шельфе Каспийского моря возможно.

Сводная таблица результатов по расчету площадки-аналога (по платформам, в процентном соотношении аналога к исходному объекту) представлена в таблице 5.

Из табл. 5 видно, что по несущей способности грунта – в процентном соотношении объекта-аналога к исходному объекту, значения отличаются от 40 % в большую сторону и до 22 % – в меньшую. Эти выводы означают, что сходимость объектов-аналогов к исходному объекту по несущей способности сильная и умеренная.

В результате исследований было установлено (см. табл. 4 и 5), что сходимость (характер связи) объектов-аналогов к исходным объектам по площадкам МСП и СПБУ сильная и умеренная. Это означает то, что применение метода инженерно-геологических аналогий к объектам МСП и СПБУ на шельфе Каспийского моря возможно.

Результаты расчета (сводные) СПБУ по внешним нагрузкам и по несущей способности с определением характера связи

Площадка постановки СПБУ	Расстояние от исходного объекта до объекта-аналога, км	Процентное соотношение аналога к исходному объекту		Характер связи
		По внешним нагрузкам – особое сочетание нагрузок, %	По несущей способности грунтов, %	
Ракушечная № 5-бис ¹	–	100 (1,00)	100 (1,00)	–
Ракушечная № 7 ²	~35	105 (1,05)	94 (0,94)	Сильная
Ракушечная № 8 ²	~20	95 (0,95)	112 (1,12)	Сильная
Сарматская № 2 ²	~75	71 (0,71)	121 (1,21)	Сильная
Широтная № 5 ²	~55	76 (0,76)	59 (0,59)	Сильная (по внешним нагрузкам) Умеренная (по несущей способности грунтов)

Примечание.

¹ – Исходный объект;

² – объект-аналог.

Сводная таблица результатов по расчету площадки-аналога (по платформам (МСП), в процентном соотношении аналога к исходному объекту)

Площадка постановки нефтяной платформы	Расстояние от исходного объекта до объекта-аналога, км	Процентное соотношение объекта-аналога к исходному объекту					Характер связи
		По внешним нагрузкам – изгибающий момент в свае, %	По внешним нагрузкам – осевая реакция грунта на сваю, %	По несущей способности грунтов – на глубине 40 м, %	По несущей способности грунтов – на глубине 50 м, %	По несущей способности грунтов – на глубине 60 м, %	
Райзерный блок ¹	–	100	100	100	100	100	–
БК ²	~6	140	137	83	83	78	Умеренная (по внешним нагрузкам – изгибающий момент в свае) Сильная (по всем остальным показателям)
ЦПП ²	~0.1	117	118	98	98	115	Сильная

Примечание:

- 1) – Исходный объект;
- 2) – «Объект-аналог».

Выводы

1. Большое число научных разработок и значительный опыт практического применения метода инженерно-геологических аналогий (ИГА) для решения частных инженерно-геологических задач обеспечивают возможность дальнейшего развития данного метода применительно к изысканиям на шельфе. Использование метода ИГА позволяет оптимизировать систему размещения платформ, а также давать предварительную оценку их устойчивости. Одной из важнейших задач, решаемых методом инженерно-геологических аналогий, является превентивное установление нормативных показателей физико-механических свойств грунтов оснований с целью реализации высоких темпов проведения инженерных изысканий и проектирования, часто осуществляющихся параллельно. В нормативных документах по инженерным изысканиям приведены лишь самые общие рекомендации к реализации метода аналогий. Отсутствуют необходимые для практических целей методические конкретизации, особенно по отношению к инженерно-геологическим изысканиям на шельфе. Всё это обуславливает необходимость развития и совершенствования нормативно-методической базы.

2. При применении метода ИГА для конкретной стадии проектирования работ предполагается наличие определённого уровня инженерно-геологической информации о месторождениях-аналогах-прототипах в объёме, необходимом и достаточном для обоснования переноса данных на изучаемый объект. С целью объективной оценки инженерно-геологической информации разработана условная классификация территорий по степени изученности инженерно-геологических условий применительно к разным стадиям геологических изысканий и выделены категории инженерно-

геологической изученности территории по комплексу критериев (наличие и детальность инженерно-геологической информации). Чем выше категория изученности инженерно-геологических условий, тем более оправданным является применение метода ИГА.

3. В районе Каспийского моря отмечены скопления газа в грунтах только в придонном слое (по анализам сейсмоакустического профилирования). В целом насыщенность грунтов газом является фактором, осложняющим инженерно-геологические условия. Данный факт также необходимо учитывать при расчетах несущей способности свайных фундаментов МСП и опорных колонн СПБУ.

По полученным данным (в ходе динамических испытаний грунтов на сейсмические, волновые и ледовые воздействия) выявлено, что перечисленные выше динамические нагрузки негативно влияют на грунт, снижая его физико-механические параметры. Сочетание негативного влияния опасного свободного мелкозалегающего газа и динамических нагрузок необходимо учитывать при расчетах несущей способности свайных фундаментов морских нефтегазопромысловых сооружений (МСП) и опорных колонн самоподъемных плавучих буровых платформ (СПБУ).

Установлено, что разница величин пенетрации без снижения физико-механических свойств грунтов и после снижения значительна. Следовательно, неправильно принятые решения по методике расчетов опорных колонн СПБУ либо опорного основания нефтяных платформ (МСП) очень сильно повлияют на безопасность эксплуатации гидротехнических сооружений.

4. Методики расчетов постановок СПБУ на грунт и проектирования фундаментов нефтегазодобывающих платформ с учетом снижения физико-механи-

ческих параметров грунтов (от влияния на них "опасного свободного газа" и "динамических внешних нагрузок") можно применять к новым перспективным месторождениям Каспийского моря, которые будут разрабатываться в будущем (в северной и центральной частях Каспийского моря, в перспективе – в южной части Каспийского моря) по принципу метода инженерно-геологических аналогий. Данный опыт, возможно, можно применить к другим морям, где присутствуют схожие условия (наличие свободного газа в грунтах, схожие гидрометеорологические условия, в частности – ледовые, волновые и сейсмические, воздействующие на нефтегазодобывающие платформы своими циклическими нагрузками).

ЛИТЕРАТУРА

1. Безродных Ю.П., Делия С.В., Лисин В.П. Применение сейсмоакустических и сейсмических методов для изучения газоносности грунтов Северного Каспия // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. – 2001. – № 5. – С. 476–480.
2. Маштаков А.С., Махова С.И. Оценка влияния мелкозалегающего газа при расчете геодинамических рисков на нефтяных платформах Северного Каспия // *Материалы науч.-практ. конф. "М.В. Ломоносов – великий деятель российской науки", посвященной 300-летию со дня рождения ученого*. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. – С. 122–124.
3. Маштаков А.С. Оценка комплексного влияния на несущую способность грунтов циклических воздействий и мелкозалегающего свободного газа // *Международный науч. журнал "Альтернативная энергетика и экология"*. – 2013. – № 11. – С. 33–36.
4. Маштаков А.С. Анализ комплексного влияния геологических процессов и геодинамических воздействий на несущую способность свайных фундаментов нефтяных платформ, устанавливаемых на шельфе Каспийского моря // *Инженерная геология*. – М.: Геомаркетинг, 2014. – № 2. – С. 44–53.
5. Тарасов Г.А., Рокос С.И. Газонасыщенные осадки губ и заливов южной части Карского моря // *Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода*. – 2007. – № 67. – С. 66–75.
6. Тарасов Г.А., Рокос С.И. О признаках газопроявлений в новейших отложениях Баренцево-Карского шельфа // *Докл. Академии наук. Геология*. – 2008. – Т. 418. – № 3. – С. 361–365.
7. Миронюк С.Г. Локализация приповерхностных зон скопления газа (газовых карманов и труб) геофизическими методами и оценка их опасности для морских сооружений // *ТЭК. Безопасность*. – 2013. – № 2. – С. 74–79.
8. Миронюк С.Г., Отто В.П. Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений // *Геориск*. – 2014. – № 2. – С. 8–18.
9. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ (ПБУ/МСП): утв. Российским морским регистром судоходства: введ. в действие с 01.03.14 / НД № 2-020201-013. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014. — 488 с.
10. РД 51.36-81. Опорные колонны самоподъемной плавучей буровой установки. Методика расчета глубины задавливания в грунт / НИПИ "Гидропромнефтегаз". – Баку, 1982.

11. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85: утв. Минрегионом России 27.12.10: введ. в действие с 20.05.11 / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. – М.: Минрегион, 2011. – 85 с.
12. СП 58.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 "Гидротехнические сооружения. Общие положения": утв. Минрегионом России 29.12.11: введ. в действие с 01.01.13 / ОАО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева". – М.: Минрегион России, 2013. – 39 с.
13. *Behaviour of Offshore Soils Containing Gas Bubbles* / G.C. Sills, S.J. Wheeler, S.D. Thomas, T.N. Gardner // *Geotechnique*. – 1991. – Vol. 41. – № 2. – Pp. 227–241.
14. Hight D.W., Hamzaand M.M., El Sayed A.S. *Engineering Characterization of the Nile Delta Clays* // *Coastal Geotechnical Engineering in Practice: Proceedings of the International Symposium, IS-Yokohama 2000, Yokohama, Japan, 20-22 Sept. 2000*. – Rotterdam, 2002. – Vol. 2. – Pp. 149–162.
15. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. – London: Blackie Academic & Professional, 1997. – 312 p.
16. Orlob G.T., Radhakrishna G.N. *The Effect of Entrapped Gases on the Hydraulic Characteristics of Porous Media* // *Transactions of the American Geophysical Union*. – 1958. – Vol. 39. – № 4. – Pp. 648–659.
17. Pietruszczak S.A., Pande G.N., Oulapour M. *Hypothesis for Mitigation of Risk of Liquefaction* // *Géotechnique*. – 2003. – Vol. 53. – № 9. – Pp. 833–838.
18. Rad N.S., Vianna A.J.D., Berre T. *Gas in Soils. II: Effect of Gas on Undrained Static and Cyclic Strength of Sand* // *J. of Geotechnical Engineering*. – 1994. – Vol. 120. – № 4. – Pp. 716–736.
19. Reinemann D.J., Parlange J.Y., Timmons M.B. *Theory of Small-diameter Airlift Pumps* // *International J. of Multiphase Flow*. – 1990. – Vol. 16. – № 1. – Pp. 113–122.
20. Sills G.C., Gonzalez R. *Consolidation of Naturally Gassy Soft Soil* // *Geotechnique*. – 2001. – Vol. 51. – № 7. – Pp. 629–639.
21. Thomas S.D. *The Consolidation Behaviour of Gassy Soil*. – Trinity, 1987. – 264 p.
22. Wheeler S.J. *The Stress-strain Behaviour of Soils Containing Gas Bubbles*. – Hilary, 1986. – 257 p.
23. Wheeler S.J. *The Undrained Shear Strength of Soils Containing Large Gas Bubbles* // *Géotechnique*. – 1988. – Vol. 38. – № 3. – Pp. 399–413.
24. Wheeler S.J. *A Conceptual Model for Soils Containing Large Gas Bubbles* // *Géotechnique*. – 1988. – Vol. 38. – № 3. – Pp. 389–397.

LITERATURA

1. Bezrodnykh Yu.P., Deliya S.V., Lisin V.P. *Primenenie seismoakusticheskikh i seismicheskikh metodov dlya izucheniya gazonosnosti gruntov Severnogo Kaspiya* // *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. – 2001. – № 5. – С. 476–480.
2. Mashtakov A.S., Makhova S.I. *Otsenka vliyaniya melkozalegayushchego gaza pri raschete geodinamicheskikh riskov na nefyanykh platformakh Severnogo Kaspiya* // *Materialy nauch.-praktich. konf. "M.V. Lomonosov – velikiy deyatel' rossiyskoy nauki", posvyashchennoy 300-letiyu so dnya rozhdeniya uchenogo*. – Volgograd: VolgGASU, 2011. – С. 122–124.
3. Mashtakov A.S. *Otsenka kompleksnogo vliyaniya na nesushchuyu sposobnost' gruntov tsiklicheskih vozdeystviy i melkozalegayushchego svobodnogo gaza* // *Mezhdunarodnyy*

- nauch. zhurnal "Alternativnaya energetika i ekologiya". – 2013. – № 11. – S. 33–36.
4. Mashtakov A.S. Analiz kompleksnogo vliyaniya geologicheskikh protsessov i geodinamicheskikh vozdeystviy na nesushchuyu sposobnost' svaynykh fundamentov neftyanykh platform, ustanavlivayemykh na shelfe Kaspiyskogo morya // *Inzhenernaya geologiya*. – M.: Geomarketing, 2014. – № 2. – С. 44–53.
5. Tarasov G.A., Rokos S.I. Gazonasyschennyye osadki gub i zalivov yuzhnoy chasti Karskogo morya // *Byull. komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. – 2007. – S. 66–75.
6. Tarasov G.A., Rokos S.M. O priznakakh gazoprovyavleniy v novyeshikh otlozheniyakh Barentsevo-Karskogo shelfa // *Dokl. Akademii nauk. Geologiya*. – 2008. – T. 418. – № 3. – С. 361–365.
7. Mironyuk S.G. Lokalizatsiya pripoverkhnostnykh zon skopleniya gaza (gazovykh karmanov i trub) geofizicheskimi metodami i otsenka ikh opasnosti dlya morskikh sooruzheniy // *TEK. Bezopasnost'*. – 2013. – № 2. – S. 74–79.
8. Mironyuk S.G., Otto V.P. Gazonasyschennyye morskije grunty i estestvennyye gazovyedeleniya uglevodorodov: zakonemernosti rasprostraneniya i opasnost' dlya inzhenernykh sooruzheniy // *Georisk*. – 2014. – № 2. – S. 8–18.
9. Pravila klassifikatsii, postroyki i oborudovaniya plavuchikh burovykh ustanovok i morskikh statsionarnykh platform (PBU/MSP): utv. Rossiyskim morskim registrom sudokhodstva: vvod v deystvie s 01.03.14 / ND № 2-020201-013. — SPb.: Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2014. — 488 s.
10. RD 51.36-81. Opornye kolonny samopod"emnoy plavuchey burovoy ustanovki. Metodika rascheta glubiny zadavlivaniya v grunt / NIPI "Gidropromneftegaz". – Baku, 1982.
11. SP 24.13330.2011. Svaynye fundamenty. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.03-85: utv. Minregionom Rossii 27.12.10: vvod v deystvie s 20.05.11 / NIIOSP im. N.M. Gersevanova. – M.: Minregion, 2011. – 85 s.
12. SP 58.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 33-01-2003 "Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Obshchie polozheniya": utv. Minregionom Rossii 29.12.11: vvod v deystvie s 01.01.13 / OAO "VNIIG im. B.E. Vedeneeva". – M.: Minregion Rossii, 2013. – 39 s.
13. Behaviour of Offshore Soils Containing Gas Bubbles / G.C. Sills, S.J. Wheeler, S.D. Thomas, T.N. Gardner // *Geotechnique*. – 1991. – Vol. 41. – № 2. – Pp. 227–241.
14. Hight D.W., Hamzaand M.M., El Sayed A.S. Engineering Characterization of the Nile Delta Clays // *Coastal Geotechnical Engineering in Practice: Proceedings of the International Symposium, IS-Yokohama 2000, Yokohama, Japan, 20-22 Sept. 2000*. – Rotterdam, 2002. – Vol. 2. – Pp. 149–162.
15. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M.. Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. – London: Blackie Academic & Professional, 1997. – 312 p.
16. Orlob G.T., Radhakrishna G.N. The Effect of Entrapped Gases on the Hydraulic Characteristics of Porous Media // *Transactions of the American Geophysical Union*. – 1958. – Vol. 39. – № 4. – Pp. 648–659.
17. Pietruszczak S.A., Pande G.N., Oulapour M. Hypothesis for Mitigation of Risk of Liquefaction // *Géotechnique*. – 2003. – Vol. 53. – № 9. – Pp. 833–838.
18. Rad N.S., Vienna A.J.D., Berre T. Gas in Soils. II: Effect of Gas on Undrained Static and Cyclic Strength of Sand // *J. of Geotechnical Engineering*. – 1994. – Vol. 120. – № 4. – Pp. 716–736.
19. Reinemann D.J., Parlange J.Y., Timmons M.B. Theory of Small-diameter Airlift Pumps // *International J. of Multiphase Flow*. – 1990. – Vol. 16. – № 1. – Pr. 113–122.
20. Sills G.C., Gonzalez R. Consolidation of Naturally Gassy Soft Soil // *Geotechnique*. – 2001. – Vol. 51. – № 7. – Pp. 629–639.
21. Thomas S.D. The Consolidation Behaviour of Gassy Soil. – Trinity, 1987. – 264 p.
22. Wheeler S.J. The Stress-strain Behaviour of Soils Containing Gas Bubbles. – Hilary, 1986. – 257 p.
23. Wheeler S.J. The Undrained Shear Strength of Soils Containing Large Gas Bubbles // *Géotechnique*. – 1988. – Vol. 38. – № 3. – Pp. 399–413.
24. Wheeler S.J. A Conceptual Model for Soils Containing Large Gas Bubbles // *Géotechnique*. – 1988. – Vol. 38. – № 3. – Pp. 389–397.