

Актуальные подходы к освоению месторождений углеводородов в мелководных зонах шельфа арктических морей

Е.В. Богатырева¹,
А.Д. Дзюбло¹,
А.Е. Сторожева¹,
К.В. Алексеева¹

¹РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Адрес для связи: storozheva.a@gubkin.ru

Ключевые слова: газ, нефть, мелководный шельф, Арктика, транзитная зона, искусственный остров

В настоящее время первоочередным районом освоения газовых ресурсов континентального шельфа Арктики является прибрежная-транзитная зона Карского моря (Обская и Тазовская губы, Западно-Ямальский шельф). Здесь открыты крупные месторождения газа: Семаковское, Каменномысское-море, Северо-Каменномысское, Крузенштернское, Харасавэйское. Нефтяные месторождения на мелководном шельфе открыты в Печорском море (Варандей-море, Медыньское-море, Мадачагское) и в море Лаптевых - Центрально-Ольгинское.

Исходя из природно-климатических и инженерно-геологических условий арктических морей, варианты освоения прибрежных месторождений с использованием бурения наклонно-направленных скважин с берега или с островов, морских стационарных платформ со стальным или железобетонным основанием, искусственных островных сооружений со стальными понтонами, грунтовых островов являются наиболее предпочтительными.

По результатам инженерно-геологических изысканий и морской электроразведки исследованной части прибрежной акватории Карского моря установлено широкое развитие многолетнемерзлых пород.

Строительство и эксплуатация газовых скважин и морских трубопроводов в арктической зоне связаны с осложнениями, обусловленными формированием ореолов оттаивания многолетнемерзлых грунтов в околоствольном пространстве и грунтов основания газопроводов. Как следствие, возможны приустьевые просадки грунта, деформация сооружений и трубной обвязки скважин, обрушение берегового склона в районе выхода газопровода на берег.

Во избежание указанных негативных явлений и повышения эксплуатационной надежности инженерных объектов предлагаются новые технические решения, применение которых позволит повысить промышленную и экологическую безопасность дорогостоящих проектов. Актуальным решением является усовершенствованный грунтово-ледовый остров.

Круглогодичная эксплуатация грунтово-ледового острова обеспечивается с помощью сезонно-действующих охлаждающих устройств, расставленных определенным образом. Такая конструкция грунтово-ледового острова позволяет ускорить строительство искусственных островов в условиях дефицита строительных материалов в Арктике.

Current approaches to the development of hydrocarbon fields in the shallow areas of the Arctic seas shelf

E.V. Bogatyreva¹,
A.D. Dzyublo¹,
A.E. Storozheva¹,
K.V. Alekseeva¹

¹RSU of oil&gas named after I.M. Gubkin

E-mail: storozheva.a@gubkin.ru

Key words: Western Siberia, core, sawing, basement, cover, pre-Jurassic complex, shear, stress metamorphism

Введение

Основная часть начальных суммарных ресурсов газа на шельфе Арктики находится в акваториях Карского и Баренцева морей. По состоянию на 01.01.20 по данным ПАО «Газпром» запасы свободного газа составляют около 50 трлн м³, при этом на шельф приходится более 10 трлн м³.

Транзитный переход (зона) «суша–море» включает транзитное мелководье с глубинами моря 0–20 м и полосу сопредельного побережья. Ширина зоны транзитного мелководья морей России, в том числе арктического, меняется от первых километров до 100–200 км (табл. 1).

Таблица 1. Распределение площади транзитных зон морей России по глубинам моря

Моря	Глубины моря		
	0-5 м	5-10 м	10-20 м
Баренцево (российский сектор)	35 %	24 %	41 %
Карское	24 %	25 %	51 %
Восточно-Сибирское	20 %	35 %	45 %
Лаптевых	14 %	20 %	66 %
Чукотское (российский сектор)	28 %	19 %	53 %
Черное	27 %	19 %	54 %
Азовское	19 %	38 %	43 %
Каспийское	57 %	23 %	20 %
Среднее значение	27 %	26 %	47 %

Транзитные зоны Печорского и Карского морей – это продолжение нефтегазоносных бассейнов суши с доказанной в отложениях мезозоя и палеозоя нефтегазоносностью. По данным ВНИГРИ в пределах транзитных зон Печорского моря начальные геологические ресурсы составляют 3492 и 18220 млн т н.э. на шельфе Карского моря (рис. 1). При этом на Печорском мелководье это – нефть, в Карском море – природный газ.

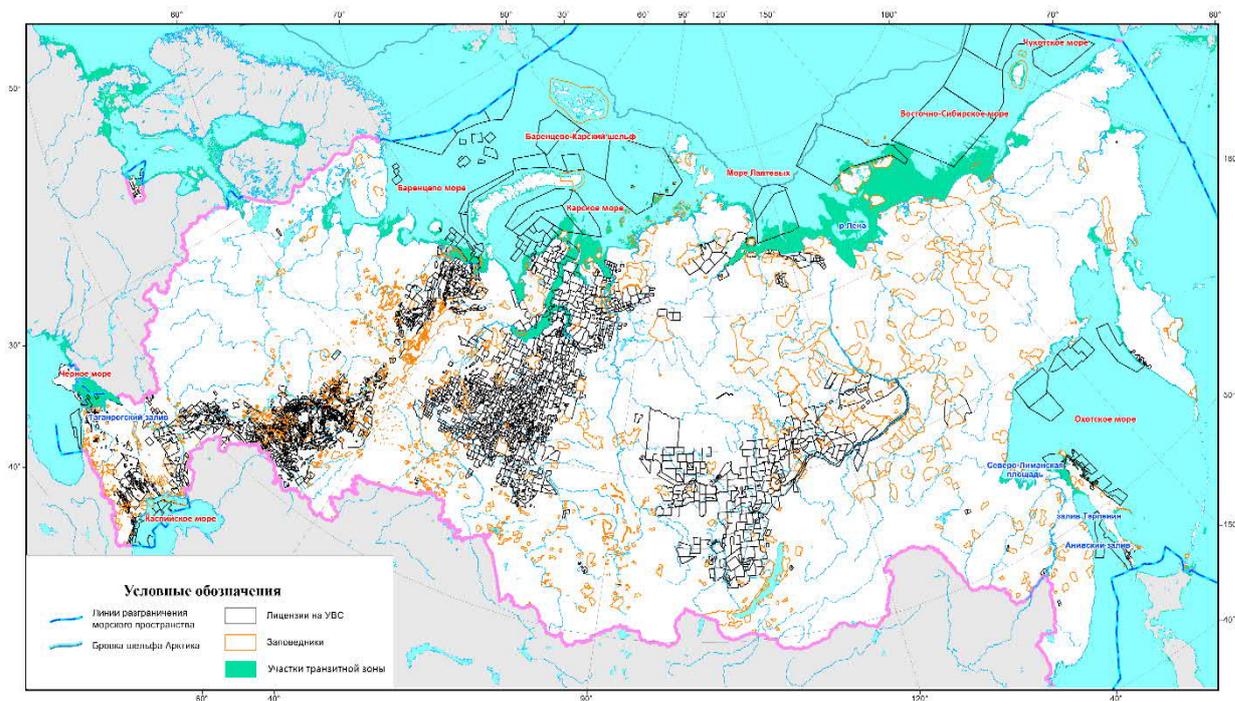


Рис. 1. Карта расположения транзитных зон шельфа РФ

Морская добыча газа в арктических условиях сопряжена с технологическими сложностями, поэтому на реализацию проектов по добыче газа понадобится не менее 15–20 лет. С учетом этих обстоятельств газовые месторождения транзитного мелководья Карского моря – Западно-Ямальский шельф и Обская и Тазовская губы представляют собой первоочередные объекты освоения углеводородного потенциала шельфа. [7]

Ресурсы газа по разным оценкам составляют от 12 до 16 трлн м³. Промышленная газоносность заключена в альб-сеноманских и аптских отложениях, глубина залегания которых составляет от 700 до 2000 м. Ввиду истощения крупнейших сухопутных газовых месторождений и роста доли газа в глобальном энергопотреблении следует вести опережающую подготовку к обустройству месторождений в прибрежной зоне Карского моря.

Освоение данных ресурсов осложняется природно-климатическими, инженерно-геологическими и геокриологическими условиями разработки. В связи с этим разработка технических решений по обустройству месторождений углеводородов в

прибрежной зоне Карского моря в вышеуказанных условиях своевременна и актуальна [11].

Природные и геологические риски транзитной зоны шельфа Карского моря

Освоение месторождений нефти и газа в мелководных зонах шельфа арктических морей сопряжено со значительными трудностями в связи со специфическими условиями региона:

- предельное мелководье;
- ледовый режим акватории (толщина льда достигает 2,5 м);
- сложные инженерно-геологические условия (донные отложения преимущественно сложены илами и сильно сжимаемыми глинистыми грунтами текучей и текучепластичной консистенции с длительной консолидацией во времени и низкой несущей способностью);

- удаленность от промышленно развитых регионов;
- отсутствие развитой сети транспортных коммуникаций;
- дефицит местных грунтовых строительных материалов;
- экологическая чувствительность региона к техногенным воздействиям;
- неустойчивые илистые грунты (13–15 м);
- постоянные подвижки ледовых полей, сезонное движение льдов;
- короткий период навигации (в среднем 3,5 месяца);
- небольшие глубины акватории;
- суровый арктический климат (с температурой наиболее холодной пятидневки до -47°C).

К числу наиболее опасных геологических процессов и явлений могут быть отнесены: ледовое пропахивание; размыв дна и аккумуляция осадков; многолетнемерзлые породы; приповерхностные газы и интервалы с аномально высоким пластовым давлением.

В верхней части разреза мелководного шельфа Тазовской губы по данным электроразведки и сейсморазведочных работ выявлено наличие криогенных зон и

газовых карманов. На месторождении Семаковское электроразведка позволила закартировать площадь распространения и толщину многолетнемерзлых грунтов. На южном участке его толщина составляет 40 м и затем слой выклинивается в сторону акватории до 10 м. На юго-востоке в прибрежной части его толщина достигает 73 м и также уменьшается в сторону моря до 10 м. Максимальное расстояние многолетнемерзлых грунтов от берега 3 км.

Характерная картина прослеживается и на шельфе Западного Ямала. По результатам исследований на месторождении Крузенштернское была картирована нижняя граница многолетнемерзлых пород (ММП) на глубинах 100–180 м. Толща ММП имеет неоднородное строение. Их природа связана с охлажденными сильноминерализованными водами.

В свою очередь данное присутствие ММП может создавать условия для концентрации газа с образованием интервалов аномально высокого пластового давления (АВПД). Наиболее опасными, с этой точки зрения, являются интервалы, приуроченные к подошве ММП. Приповерхностные интервалы с наличием АВПД нередко вскрывались при инженерно-геологическом бурении на полуострове Ямал, что сопровождалось выбросами газо-водяной смеси и открытым фонтанированием скважин в районах ряда месторождений. [4]

По данным исследования мерзлые породы акваториальной части находятся в стадии деградации. Процесс перехода мерзлого грунта в талый сопровождается посткриогенными явлениями, главным из которых является газовыделение. Это влечет за собой изменение как физических, так и механических характеристик грунта, поскольку грунты даже с малым содержанием газа приобретают совершенно иные специфические свойства. [1, 2, 12]

Наличие в верхней части разреза свободного газа в районе исследований выявлено на геоакустических разрезах и по материалам ГИС газовых месторождений: Семаковское и Обское, а также газоконденсатных: Северо-Каменномыское и Чугорьяхинское.

Поэтому при подготовке к бурению скважин необходимо уделять повышенное внимание выбору точки заложения с учетом данных инженерно-геологических

изысканий вероятного наличия приповерхностного газа во избежание аварийных ситуаций и рисков при бурении [6].

Опыт освоения ресурсов углеводородов в мелководных зонах шельфа арктических морей

Мировой опыт освоения месторождений в транзитных зонах арктических акваторий показал следующие успешные способы: ледостойкие платформы; искусственные острова; наклонно направленное бурение скважин с берега [9].

Применение ледостойких платформ на мелководных акваториях затруднительно из-за большой осадки опорного основания платформы при его доставке на точку установки.

Строительство искусственного грунтового острова для освоения газовых месторождений в существующих условиях без специальных мер по укреплению основания недопустимо. В целом использование грунтовых островов представляется трудноосуществимым. Это связано с долгосрочной консолидационной осадкой, темпом строительства острова и, в конечном итоге, с технической надежностью сооружения.

Искусственные ледовые острова применимы для разведочного бурения в зимний период времени.

Для обеспечения необходимой устойчивости ледового острова можно создать длинные и пологие откосы, уменьшающие величины ледовых нагрузок, а песчаное теплоизоляционное покрытие увеличит срок жизни острова. При этом ледовая масса должна создавать давление на дно, достаточное для сохранения устойчивости [8].

Следующим способом освоения прибрежных месторождений является бурение наклонно-направленных скважин с берега. Основные преимущества освоения морского месторождения с берега: снижение стоимости бурения скважины, минимизация угрозы загрязнения морской среды, не требуются подводные трубопроводы. Недостаток состоит в том, что продуктивные пласты при их залегании на больших расстояниях от береговой линии недосыгаемы, т. е. такой способ освоения позволяет разрабатывать лишь небольшую часть прибрежной полосы залежи [3].

Даже используя уникальную по своим характеристикам мощную буровую установку, которая сможет построить скважины с коэффициентом сложности 8, бурение скважин с берега со значительным отходом более 5 км от вертикали на глубине залегания сеноманской залежи экономически нецелесообразно и технически трудно реализуемо (термоабразионное разрушение берега моря, сползание конструкций в море и др.).

Значительная часть берега залива Шарапов Шар, Обской и Тазовской губ сложена льдистыми породами и подвержена интенсивному термоабразионному разрушению за счет теплового и волнового воздействия.

На данный момент в России реализация проектов по освоению морских нефтегазовых месторождений на мелководье в Карском море уже началась на Юрхаровском и Каменномысском-море месторождениях.

Юрхаровское нефтегазоконденсатное месторождение можно считать первым разрабатываемым российским арктическим месторождением в переходной зоне «суша–море» (рис. 2). Западная часть месторождения находится на Тазовском полуострове, а центральная и восточная части в Тазовской губе Карского моря, средняя глубина которой составляет 4 м. Месторождение открыто в 1970 г., введено в промышленную разработку в январе 2003 г. По величине извлекаемых запасов газа месторождение относится к уникальным [10].

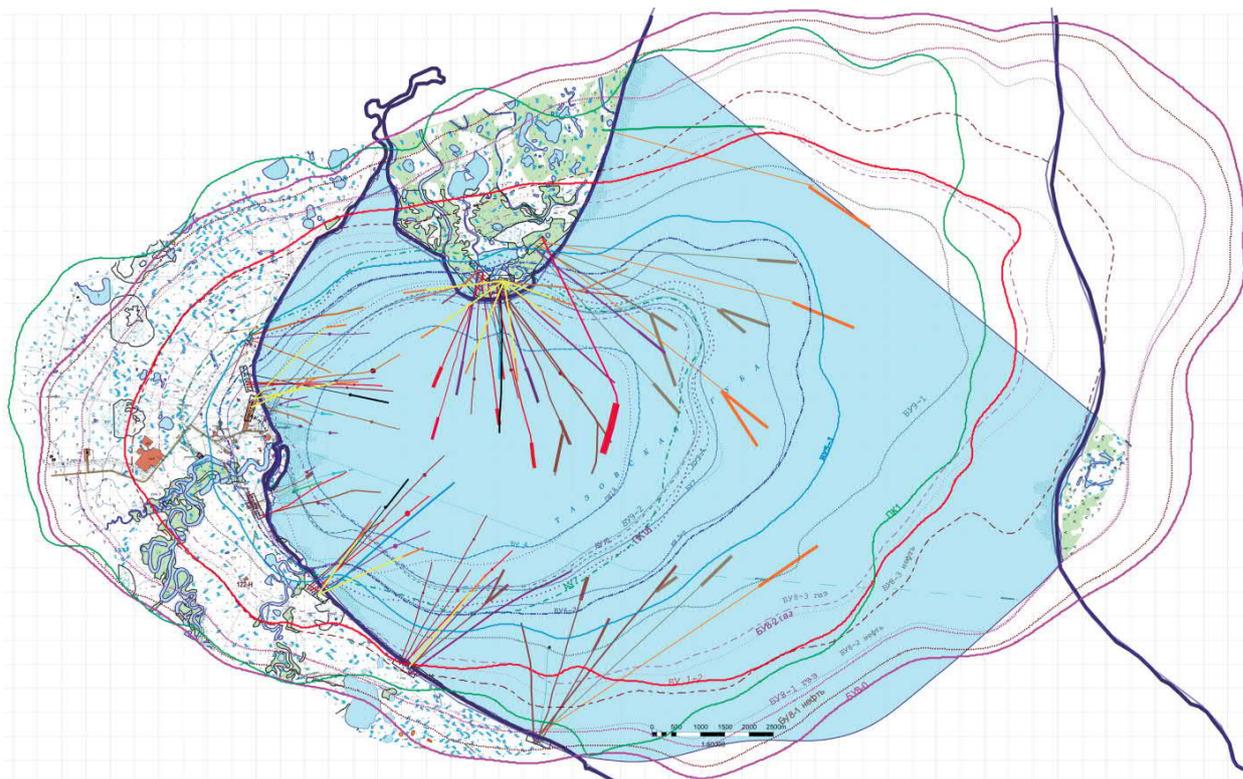


Рис. 2. Профили эксплуатационных скважин Юрхаровского НГКМ

Газовое месторождение Каменномысское-море расположено в южной части Обской губы, между мысом Парусный и мысом Каменный, и вытянуто на расстояние 56 км. По величине запасов газа относится к уникальным. Глубина моря в районе месторождения составляет 5–12 м. Ключевым объектом обустройства станет морская ледостойкая платформа, строительство которой началось в июне 2020 г.

Грунтово-ледовый остров для освоения ресурсов углеводородов в мелководных зонах шельфа арктических морей

Согласно природно-климатическим и инженерно-геологическим условиям наиболее подходящим вариантом освоения месторождений прибрежной зоны Карского моря может служить искусственный грунтово-ледовый остров (рис. 3).

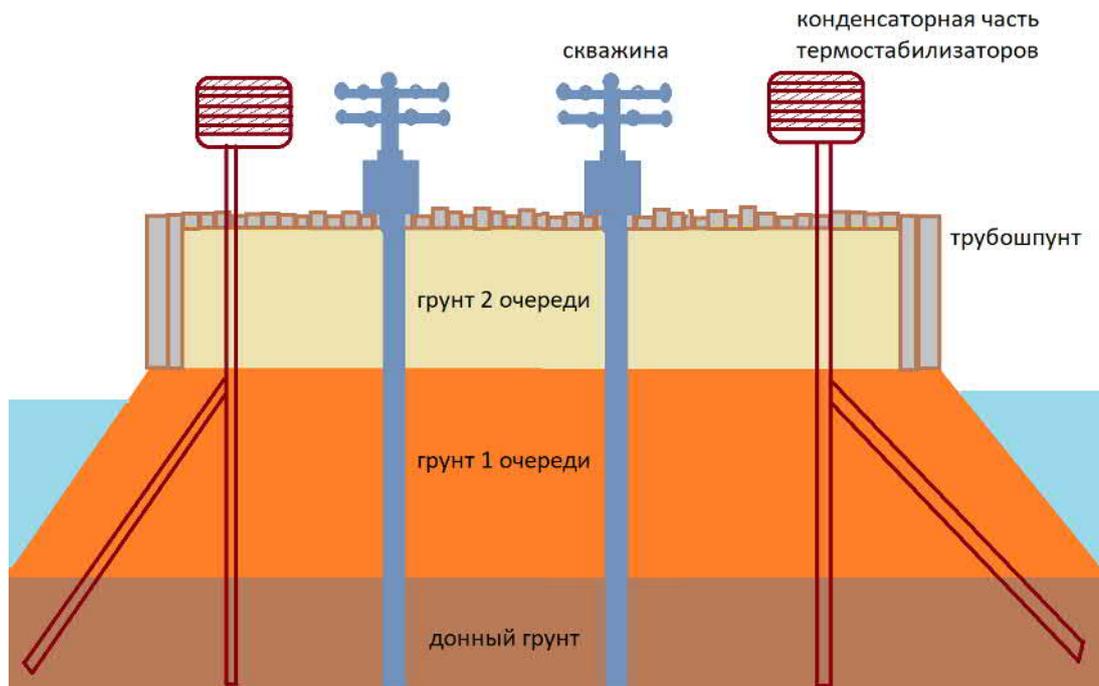


Рис. 3. Схематическое представление грунтово-ледового острова

Последовательность строительства грунтово-ледового острова следующая. В первый летний сезон формируется грунтовый остров необходимого размера и мощности методом намыва. Термостабилизаторы устанавливаются в зимнее время с определенным шагом. В течение зимнего сезона грунтовый остров ввиду небольшой глубины воды полностью промерзает. В период второго летнего сезона устанавливается верхняя часть острова: дополнительно устанавливается трубопункт и отсыпается сухой грунт. Завоз всей необходимой техники и оборудования для бурения куста скважин происходит во второй зимний сезон. Таким образом, бурение эксплуатационных скважин можно начинать в третий летний сезон.

Для оценки реализуемости круглогодичного освоения месторождений углеводородов Западного Ямала, Обской и Тазовской губ с помощью грунтово-ледового острова были проведены теплотехнические расчеты по программе «Frost 3D Universal». Данная программа сертифицирована в России и отвечает всем требованиям нормативных документов.

Грунтово-ледовый остров представляет собой искусственный намывной остров размером около 80x80 м. Высота острова составляет 6,0 м при глубине воды 2,5 м (рис. 4).

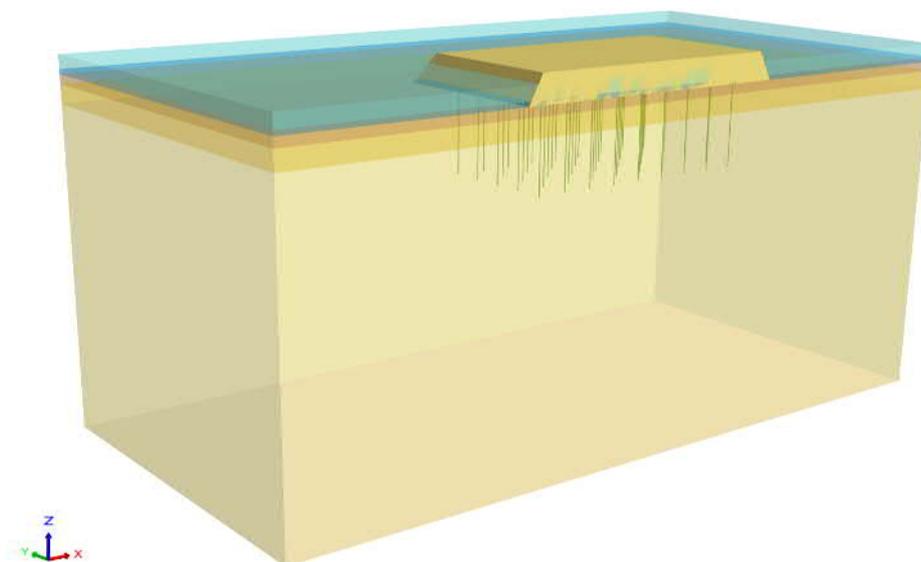


Рис. 4. Трехмерная расчетная модель

Для обеспечения надежности эксплуатации искусственного острова используются сезонные охлаждающие устройства (СОУ). При использовании сезонно охлаждающих устройств возможно создание морозной завесы по периметру искусственного острова. Морозная завеса ограничивает эрозию откосов острова, препятствует фильтрации воды, позволяя выполнять водопонижение внутри острова. Применение термостабилизаторов с горизонтальными системами охлаждения позволяет создавать более обширные льдогрунтовые массивы и оптимизировать наземное пространство.

В зависимости от положения искусственного острова относительно береговой линии и глубины кровли многолетнемерзлых грунтов возможно использование охлаждающих устройств увеличенной длины для создания льдогрунтового массива единого с материковым. Благодаря открытому пространству акватории и ветровому режиму фактическая эффективность термостабилизаторов также будет выше, чем

расчетная, полученная по данным метеостанции. Также возможно применение круглогодичных охлаждающих устройств. В этом случае скорость формирования льдогрунтового массива будет значительно выше.

В период эксплуатации газодобывающих скважин СОУ также будут обеспечивать охлаждение грунтово-ледового острова (рис. 5). При теплотехническом расчете была учтена теплоизоляция добывающих скважин толщиной 100 мм. Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала $0,03 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$. Рассчитанный коэффициент теплопередачи для теплоизоляции составил $0,235 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$.

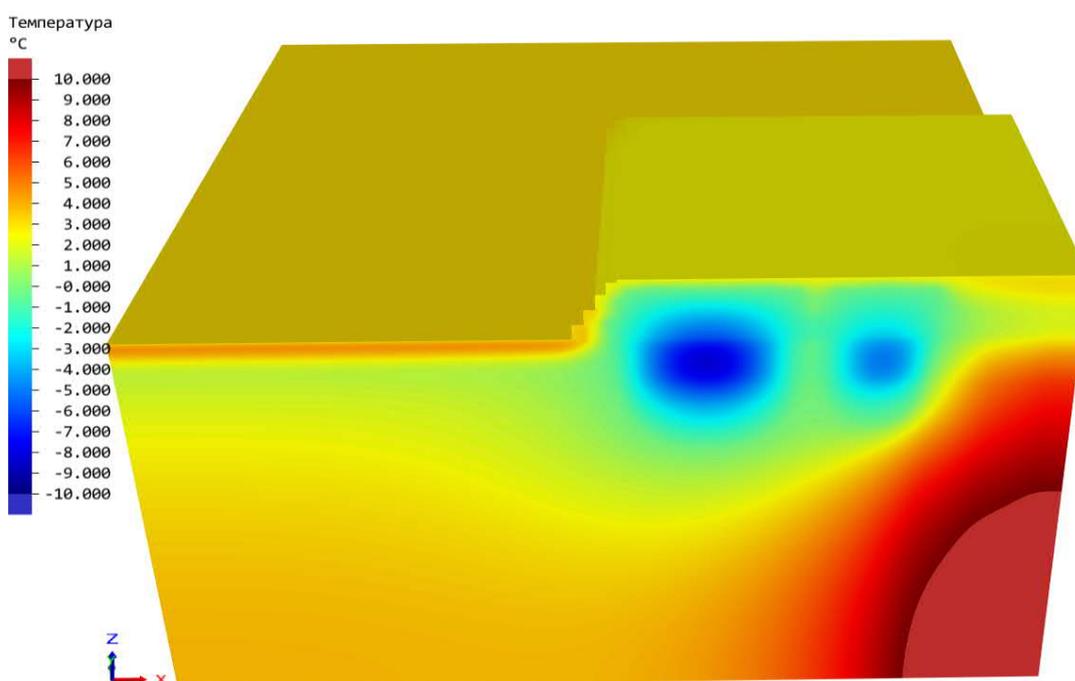


Рис. 5. Поперечный разрез температурного поля грунтово-ледового острова за десятый год эксплуатации скважин

Данный комплекс технических решений (совместная работа теплоизоляции и термостабилизаторов) позволит обеспечить эксплуатационную надежность газодобывающих скважин, пробуренных в грунтово-ледовом острове.

Заключение

Природно-климатические и инженерно-геологические условия исследованной части акватории Западного Ямала, Обской и Тазовской губ Карского моря осложнены наличием многолетнемерзлых пород и приповерхностного газа.

На месторождениях Чугорьяхинское, Семаковское и Обское выявлены маломощные пласты приповерхностного газа толщиной 1–2 м на глубине. В связи с этим при выборе места постановки платформы для разведочного или поисково-оценочного бурения скважин необходимо учитывать вероятность наличия газонасыщенных осадков, газовых карманов в верхней части разреза.

По результатам инженерно-геологических изысканий и морской электроразведки установлено локальное распространение многолетнемерзлых пород в акватории Тазовской губы на расстоянии до 3 км от берега.

Строительство и эксплуатация газовых скважин и морских трубопроводов в арктической зоне связаны с осложнениями, обусловленными формированием области оттаивания многолетнемерзлых грунтов в околоствольном пространстве и грунтов основания газопроводов.

Во избежание указанных негативных явлений и повышения эксплуатационной надежности инженерных объектов предлагается грунтово-ледовый остров, применение которого позволит повысить промышленную и экологическую безопасность дорогостоящих проектов.

Список литературы

1. Дзюбло А.Д., Алексеева К.В. Геокриологические условия мелководного шельфа Карского моря (Приямальский шельф, Обская и Тазовская губы) // *Neftegaz.RU* – 2020. – № 5. – с. 64–70.
2. Дзюбло А.Д., Алексеева К.В. Инженерно-геологические условия обустройства акваториальной части Крузенштернского месторождения в Карском море // *Арктика: экология и экономика*. – 2020 – №1 (37). – с. 95–108.
3. Дзюбло А.Д., Алексеева К.В. Технологии и особенности освоения месторождений углеводородов в мелководных транзитных зонах Приямальского шельфа Карского моря // *Тр. РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина*. – 2019. – № 1/294. – С. 17–29.
4. *Природные и техногенные риски при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе арктических морей* / Дзюбло А.Д., Алексеева К.В., Перекрестов В.Е., Сян Хуа. // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 4. с. 74–81.
5. Дзюбло А.Д., Алтухов Е.Е., Бенько Г.А. Поверхностный газ как риск при освоении нефтегазовых месторождений в Обской и Тазовской губах Карского моря, *НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*, № 6(342), 2021 г., с. 52–58.
6. Дзюбло А.Д., Перекрестов В.Е., Алексеева К.В. Проблемы промышленной безопасности при бурении скважин и обустройстве нефтегазовых месторождений на шельфе арктических и субарктических морей, *Известия вузов. Горный журнал*. 2021. № 8. с. 24–33.
7. Дзюбло А.Д., Сторожева А.Е. Транзитное мелководье – первоочередной объект освоения углеводородного потенциала шельфа Арктики // *Neftegaz.RU* – 2021. – № 2. – с. 34–40.

8. *Елисеев, А.А., Якушев В.С.* Успешный опыт термостабилизации устьев скважин на месторождениях Ямала как пролог новых технологий освоения месторождений Карского моря // Научный журнал Российского газового общества. – 2021. – № 3(31). – с. 30–33.
9. *Золотухин А.Б., Гудместад О.Т., Ермаков А.И.* Основы разработки шельфовых месторождений и строительство морских сооружений в Арктике. – М.: Нефть и газ, 2000. – 770 с.
10. *Медведев С.Г., Соловьев С.Г., Лузин А.А.* Опыт разработки Юрхаровского нефтегазоконденсатного месторождения с использованием горизонтальных скважин // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2014. – № 4 (20). – с. 23–33.
11. *Факторы, определяющие техническую доступность перспективных нефтегазовых месторождений мелководного арктического шельфа / Мирзоев Д.А., Ибрагимов И.Э., Шилов Г.Я., Архипова О.Л.* // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков, №3, 2013 г., с. 14–21.
12. *Рокос С.И., Костин Д.А., Куликов С.Н.* Субаквальные многолетнемерзлые породы Обской и Тазовской губ Карского моря; Криосфера Земли. 2019. Т. 23. № 5 (97). с. 17–26.