



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

**Дзюбло Александр Дмитриевич** д.г.-м.н., профессор  
**Богатырева Елена Викторовна** к.т.н., зав. кафедрой, доцент  
**Сторожева Анна Евгеньевна** к.т.н., зам. зав. кафедрой  
**Алексеева Ксения Владимировна** аспирант  
**РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина**

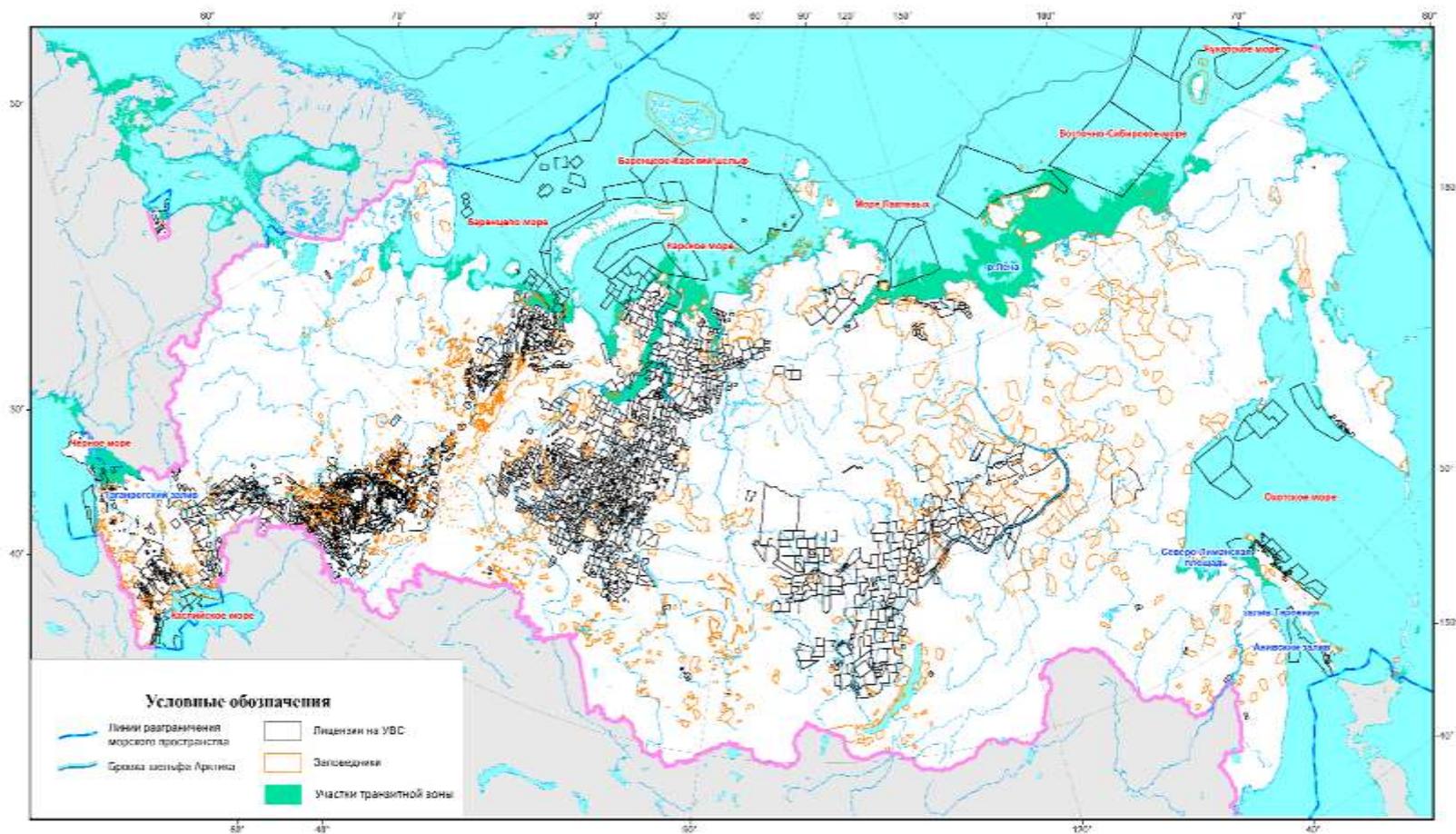
Москва, 2022

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.

### 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 %

## Карта расположения транзитных зон шельфа РФ



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 млн т н.э. и 18 220 млн т н.э. на шельфе Карского моря. При этом на Печорском мелководье это - нефть, в Карском море – природный газ

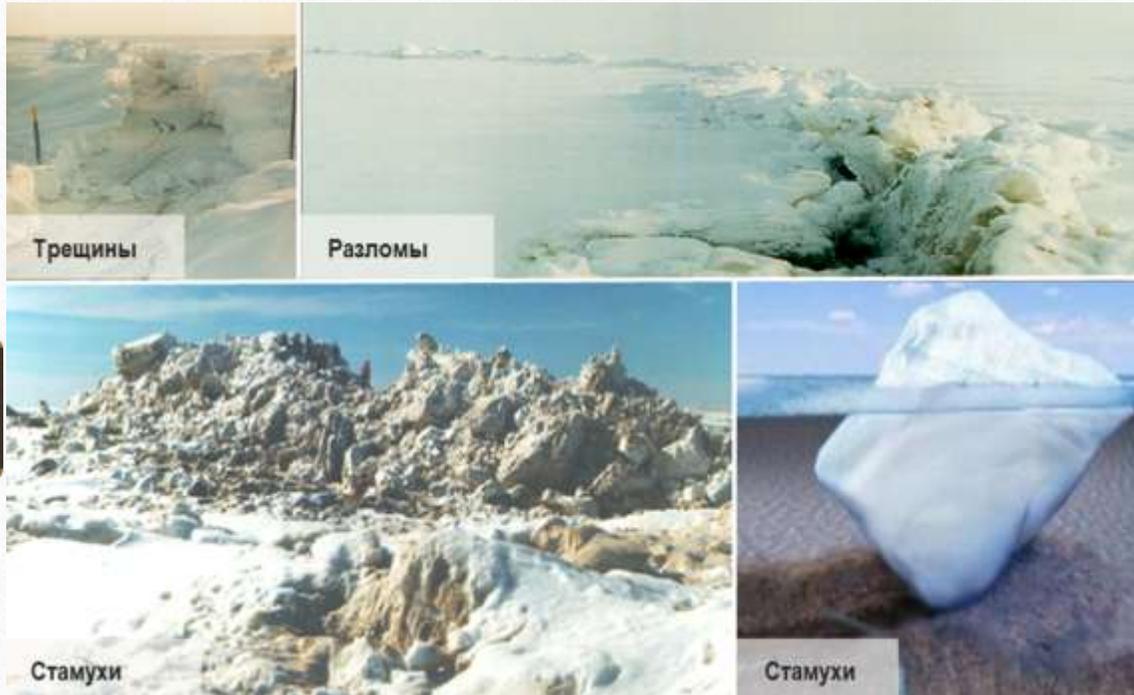
## Обзорная карта Приямальского шельфа и района Обской и Тазовской губ

Освоение месторождений сопряжено со значительными трудностями в связи со специфическими условиями региона:

- предельное мелководье;
- ледовый режим акватории (толщина льда достигает до 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.

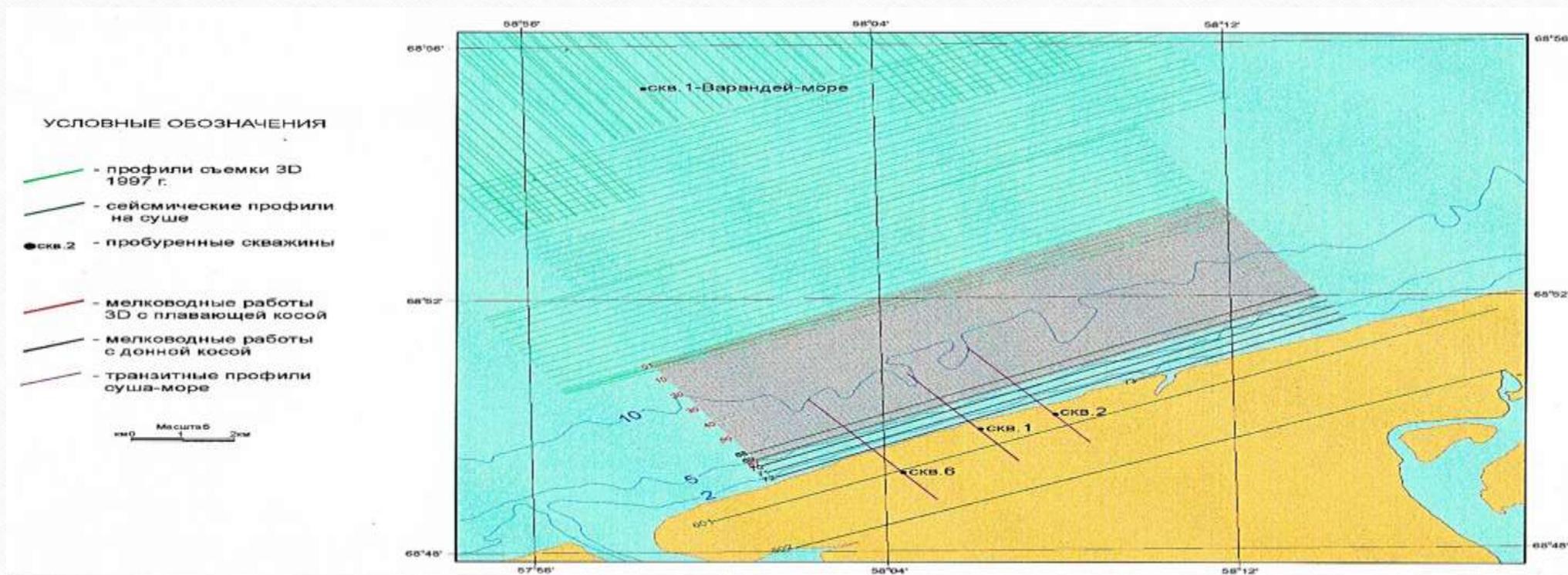


## Природно-климатические условия



- Неустойчивые илистые грунты (13 – 15 метров)
- Мощные пресные льды, толщиной до 2,5 метров
- 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 °С)

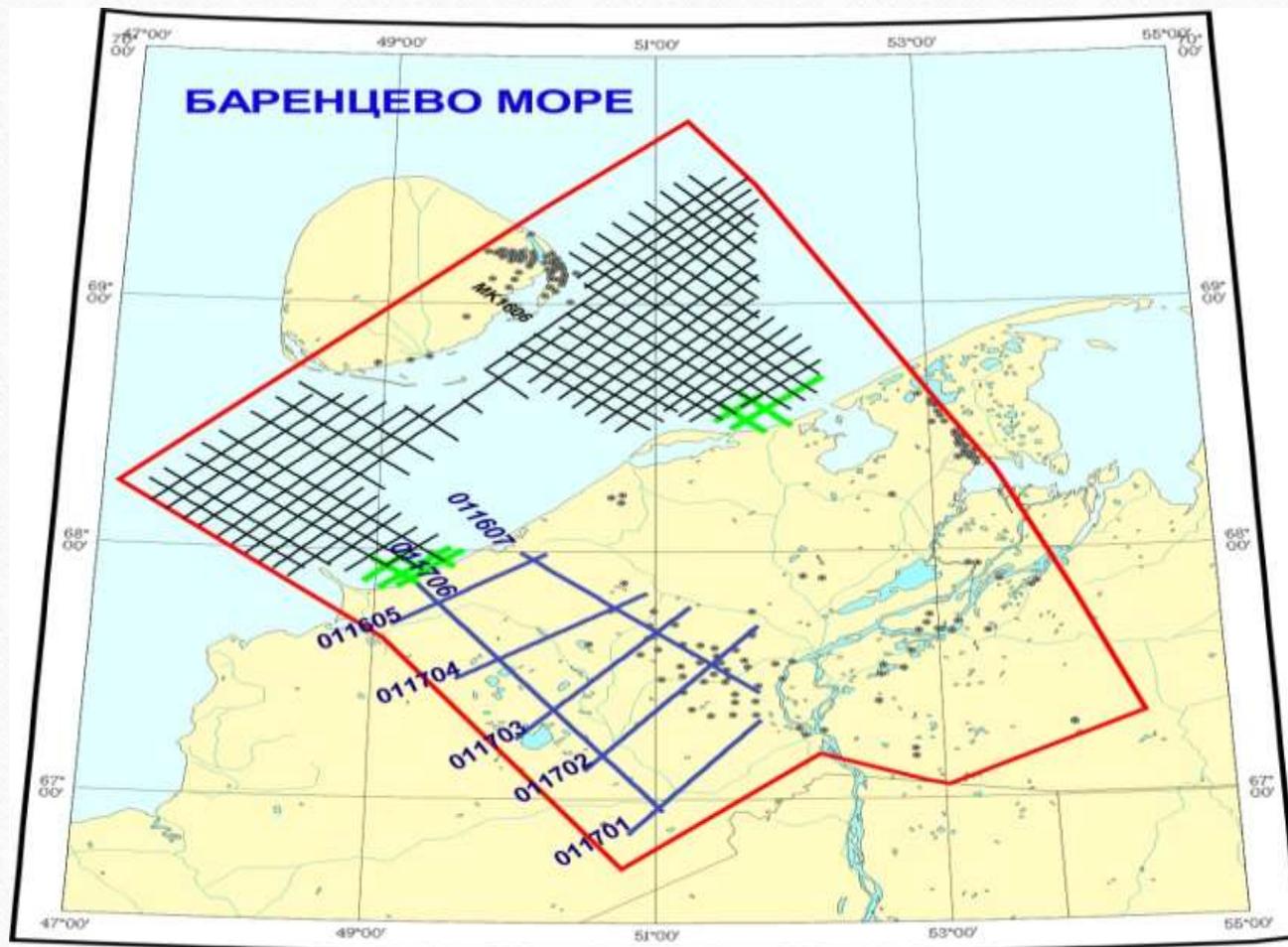
## Схема проведения съемки 3D в переходной зоне море-суша (1998 г.)



В 1998 г. ОАО «СМНГ» для уточнения южного замыкания Варандейской структуры, впервые в транзитной зоне были проведены сейсморазведочные работы методами пространственной (3D) и профильной сейсморазведки (2D).



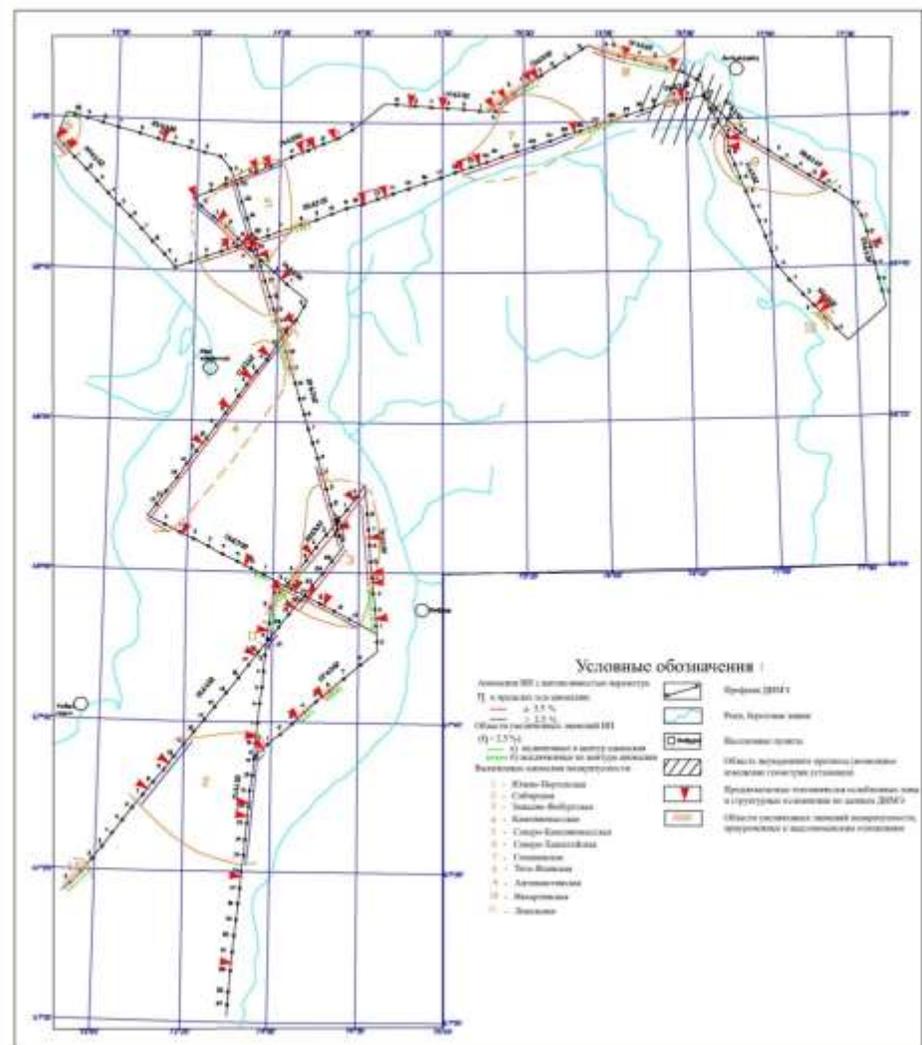
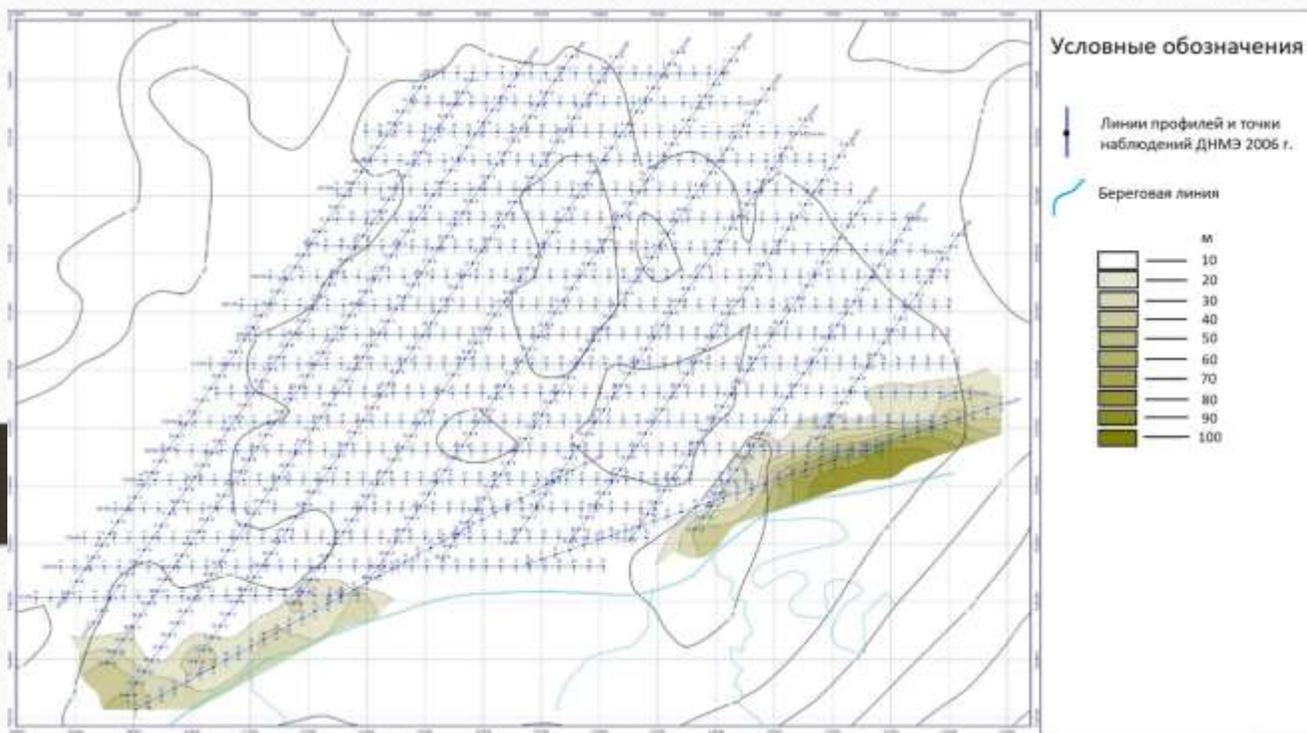
## Схема проведения съемки МОГТ-ОГТ 2D (2016 г.)



В 2016 г. за счет средств государственного бюджета ОАО «МАГЭ», при комплексном сопровождении ФГБУ «ВНИГНИ» в пределах Тимано-Печорской провинции проводились геофизические работы МОГТ-2D в глубоководной части 3000 п.км, транзитной зоне – 150 п.км и на суше 550 п.км.

Цель работ - прослеживание тектонических элементов Малоземельско-Колгуевской моноклинали и Ижма-Печорской синеклизы с сухопутной части через транзитную зону в более глубоководную (более 20 м) морскую часть провинции и оценка ресурсов УВ.

# Многолетнемерзлые породы в прибрежной зоне Семаковского месторождения



Слой многолетнемерзлых пород (ММП) выделен на южном и юго-восточном участках площади в прибрежной зоне. Он характеризуется сопротивлением 141-148 Ом\*м. На южном участке его толщина на ближайших к берегу пикетах составляет 40 м и затем слой выклинивается в сторону акватории до 10 м. На юго-востоке в прибрежной части его толщина достигает 70 м и также уменьшается в сторону моря до 10 м.

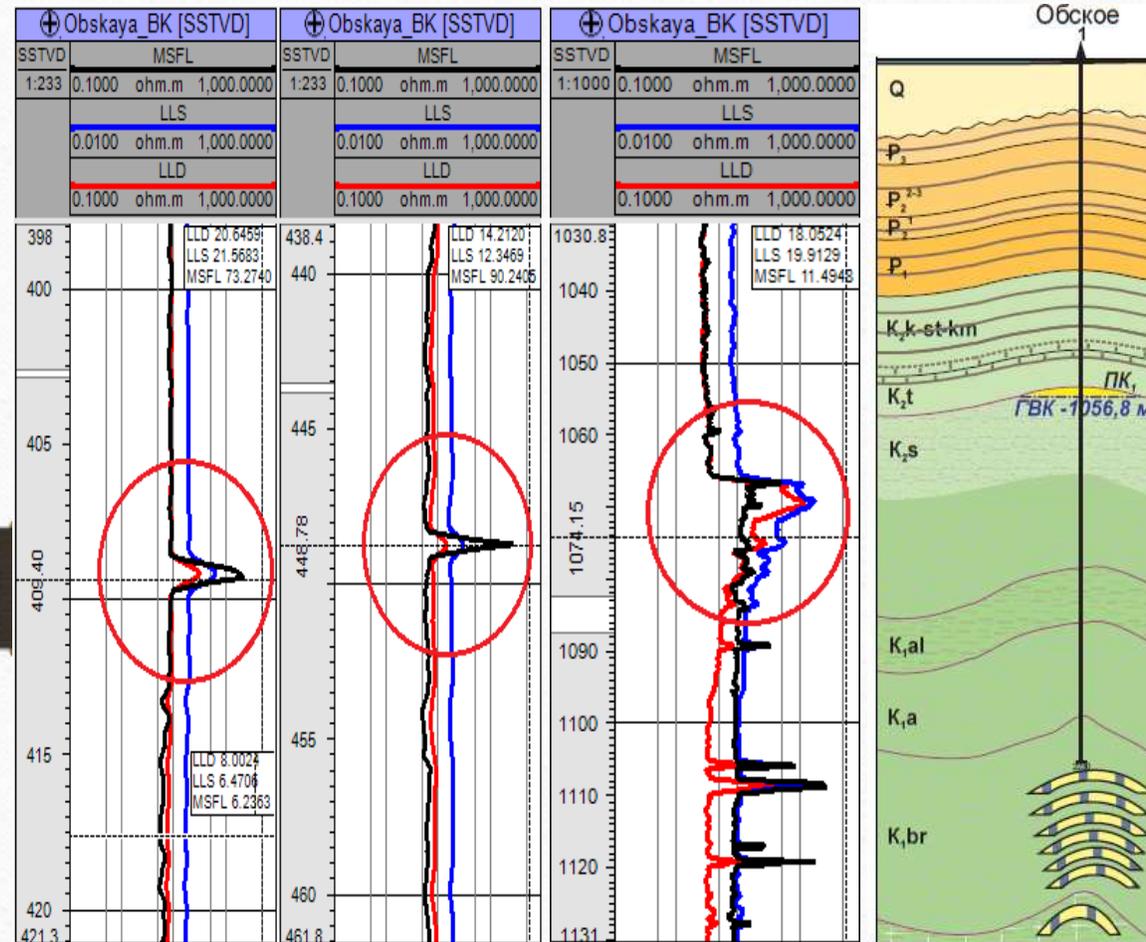
# Принципиальная схема распространения многолетнемерзлых и талых грунтов под дном Обской губы близ м. Каменного



В пределах прибрежного мелководья ММП встречаются на удалении до 100 м от берега, так у Ямальского берега в районе м. Каменный кровля мерзлых пород была зафиксирована на удалении 50 м от берега на глубине 3 м, на удалении 100 м - на глубине 10-12 м.

Область устойчивых многолетнемерзлых пород (ММП)		Область динамичных многолетнемерзлых и талых пород		Область устойчивых талых пород
ММП сливающегося типа		ММП несливающегося типа, перелетки	ММП с погруженной кровлей	Сквозной талик
Субазральные ММП	Субаквальные ММП			
коренной берег, лайда, пляж	мелководье	подводный береговой склон		

По данным АО «АМИГЭ»



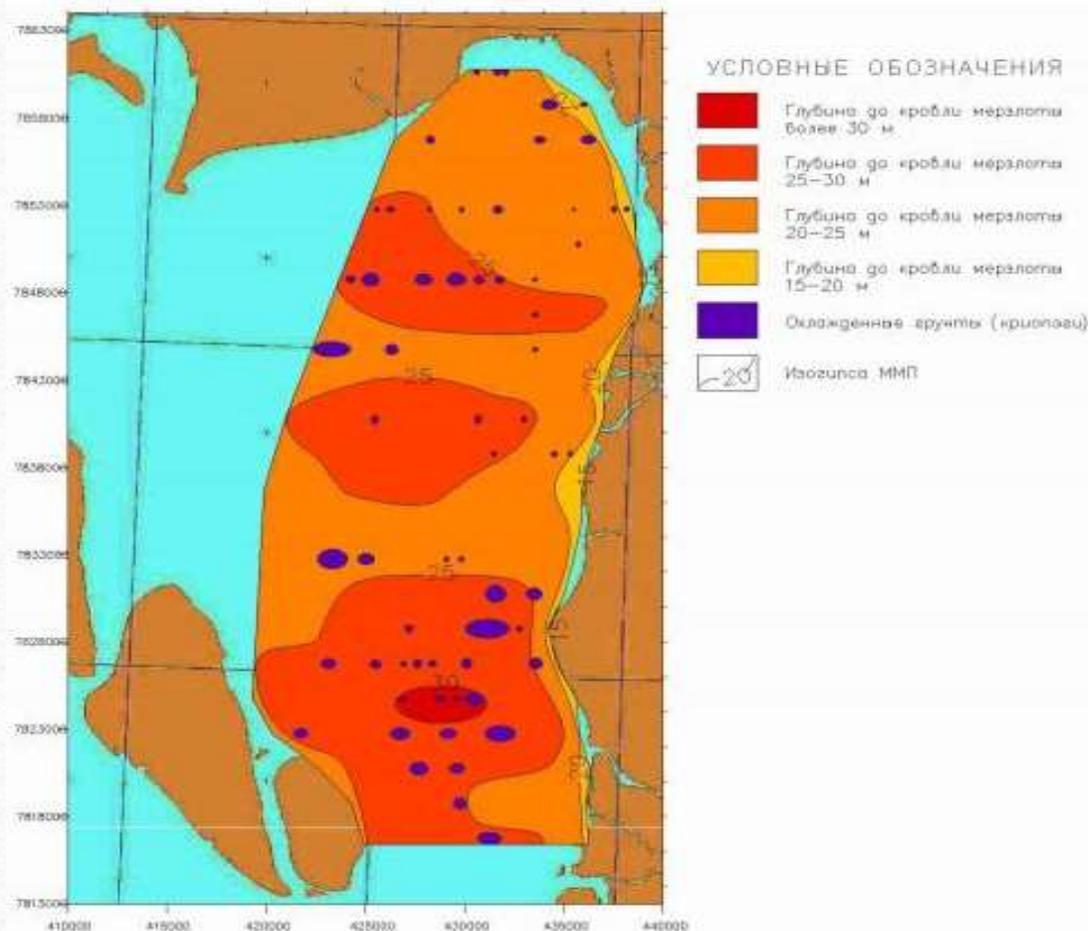
## Выделение приповерхностного газа по ГИС

На Обском месторождении с небольшой газовой залежью в пласте ПК<sub>1</sub> сеноманских отложений в скважине №1, методом бокового каротажа выявлены аномалии удельного электрического сопротивления на глубине 408 м и 448 м. Мощность аномальных пластов 2 м и 1,5 м, величина сопротивления пород составила 21 Ом\*м и 14 Ом\*м соответственно, что близко к сопротивлению продуктивного пласта 20 Ом\*м на глубине 1074 м.

Каротажные данные скважины Обская №1

- а) высокие значения сопротивлений, метод БК. Интервалы 400-420 м и 438-460 м;
- б) продуктивный пласт, метод БК. интервал 1000-1130 м;
- в) фрагмент геологического разреза

## Геокриологические условия прибрежной акватории Западного Ямала



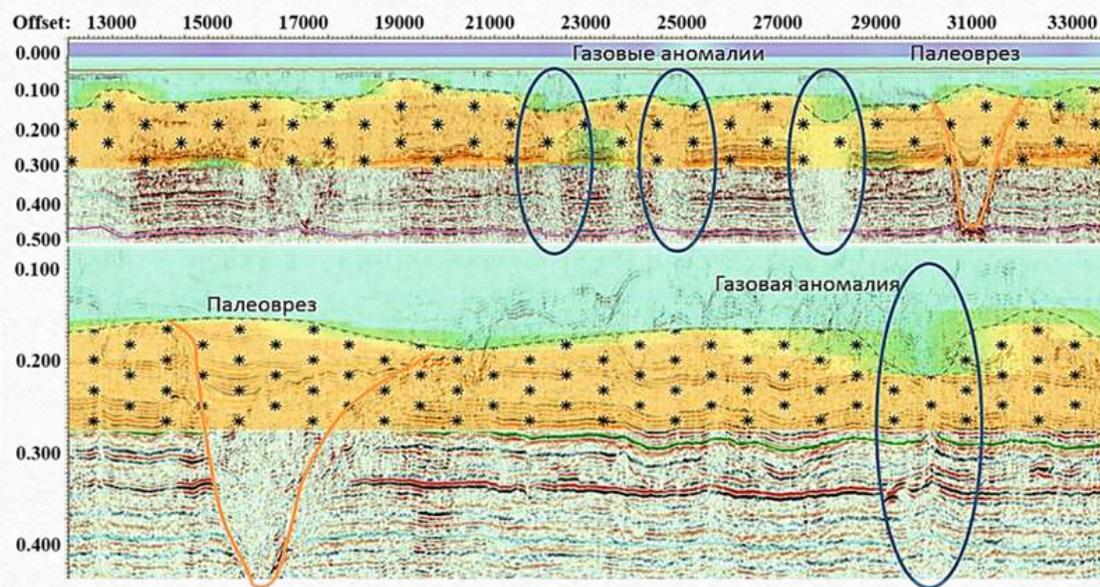
Карта геокриологического районирования месторождения Крузенштернское

Инженерно-геокриологические исследования на месторождении Крузенштернское шельфа Карского моря (залив Шарапов Шар) провели в летне-осенний сезон 2010 года.

Результаты работ позволили картировать верхнюю границу ММП в акватории залива Шарапов Шар месторождения Крузенштернское.

Также была определена нижняя граница ММП, находящаяся на глубинах 100-180 м. Толще ММП характерно неоднородное строение.

## Наличие криогенных зон и газовых карманов в разрезе шельфа Западного Ямала по данным электроразведки и сейсморазведочных работ



Совмещенные геозэлектрические и сейсмические разрезы с выделенными газовыми аномалиями в зоне ММП

Высокое сопротивление слоя является прямым признаком наличия ММП. Там, где его мощность меньше (заглубление) - газ мигрирует по трещиноватым зонам из отложений ниже ММП, либо биогенный газ выходит при деградации мерзлых пород.

По данным сейсмоакустических методов следует, что в верхней части разреза площади исследований наблюдается высокая степень загазованности поверхностных отложений. Приповерхностные интервалы со значительными АВГД наиболее вероятны на мелководных участках, где развиты мощные толщи ММП.

При случайном вскрытии таких интервалов в процессе бурения происходит неконтролируемое выделение пластовых флюидов - газовый выброс.

## Способы освоения месторождений, открытых в транзитной зоне



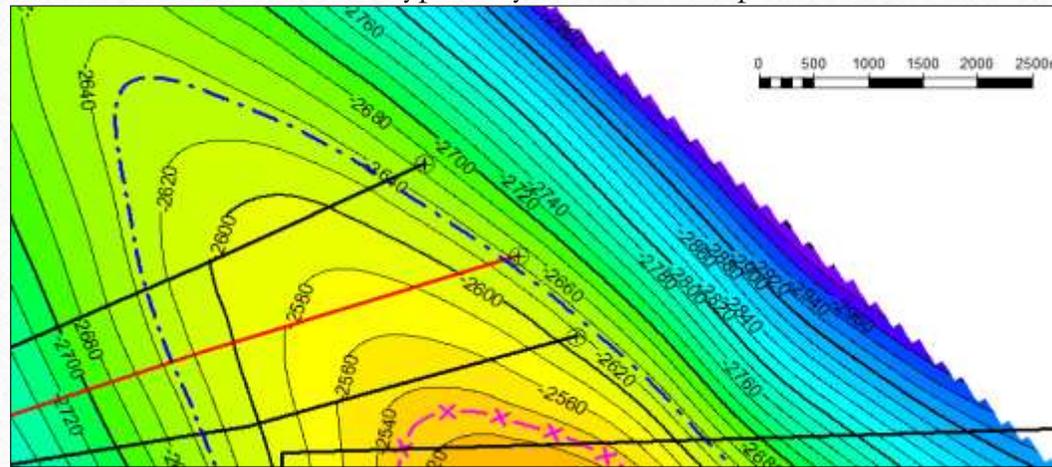
МСАП «Приразломная»



Наземная буровая установка «Ястреб»

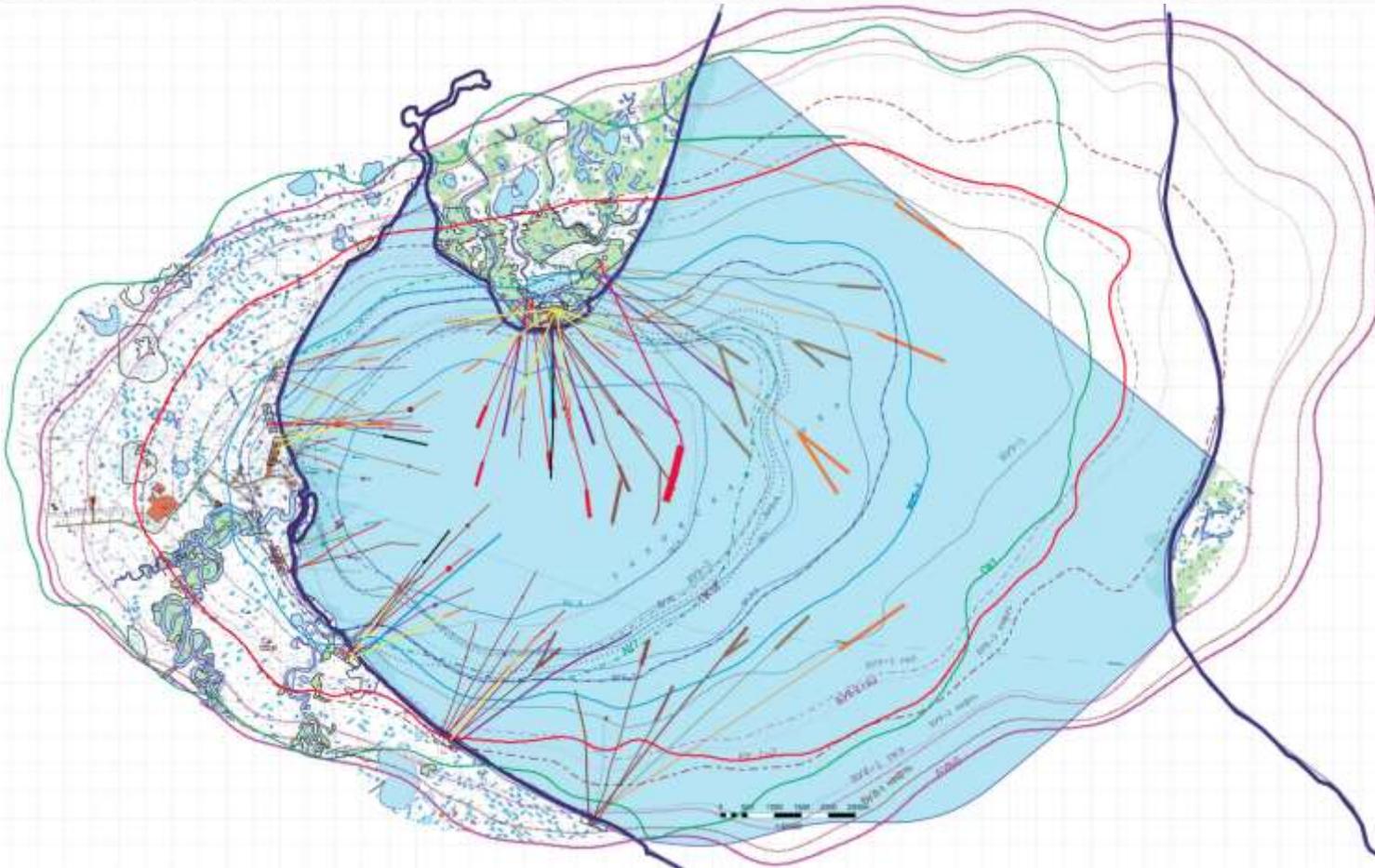


Искусственный остров месторождения Nikaitchuq



Структурная карта по кровле пласта 17 месторождения Северное Чайво

## Юрхаровское нефтегазоконденсатное месторождение



Профили эксплуатационных скважин Юрхаровского НГКМ

Год открытия месторождения	1970 г.
Начало добычи	2003 г.
Владелец лицензии	ООО «НОВАТЭК-Юрхаровнефтегаз»
Доказанные запасы газа (SEC)	213,5 млрд м <sup>3</sup>
Доказанные запасы жидких углеводородов (SEC)	8,1 млн т
Глубина моря	4 м

## Обустройство месторождений углеводородов в прибрежной зоне Карского моря



Отсыпаемый остров с укрепленными откосами



Остров с вертикальным креплением периметра



Намывные острова с укрепленными откосами



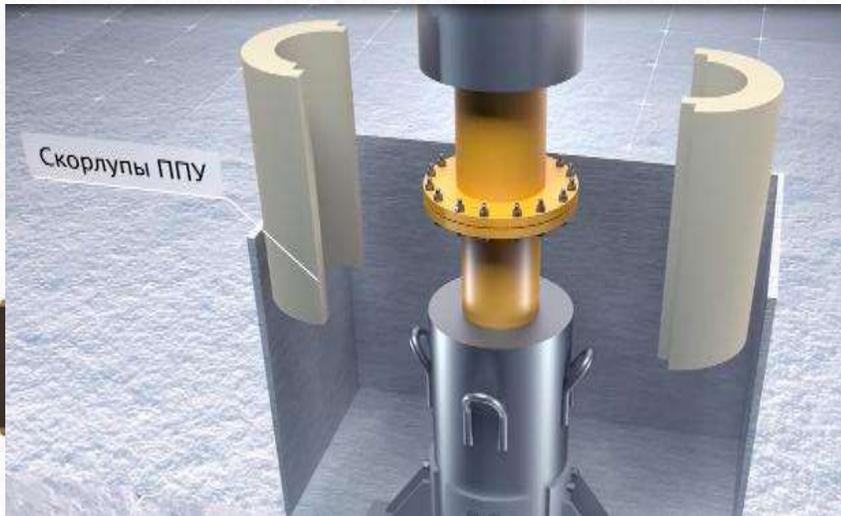
Искусственный остров композитного типа



Намороженный ледовый остров

Строительство искусственного островного сооружения (ИОС) для освоения газовых месторождений, в существующих природно-климатических, инженерно-геологических, гидрологических условиях без специальных мер по укреплению грунтов основания невозможно.

## Способы сохранения состояния ММП в процессе освоения месторождений мелководной акватории Карского моря



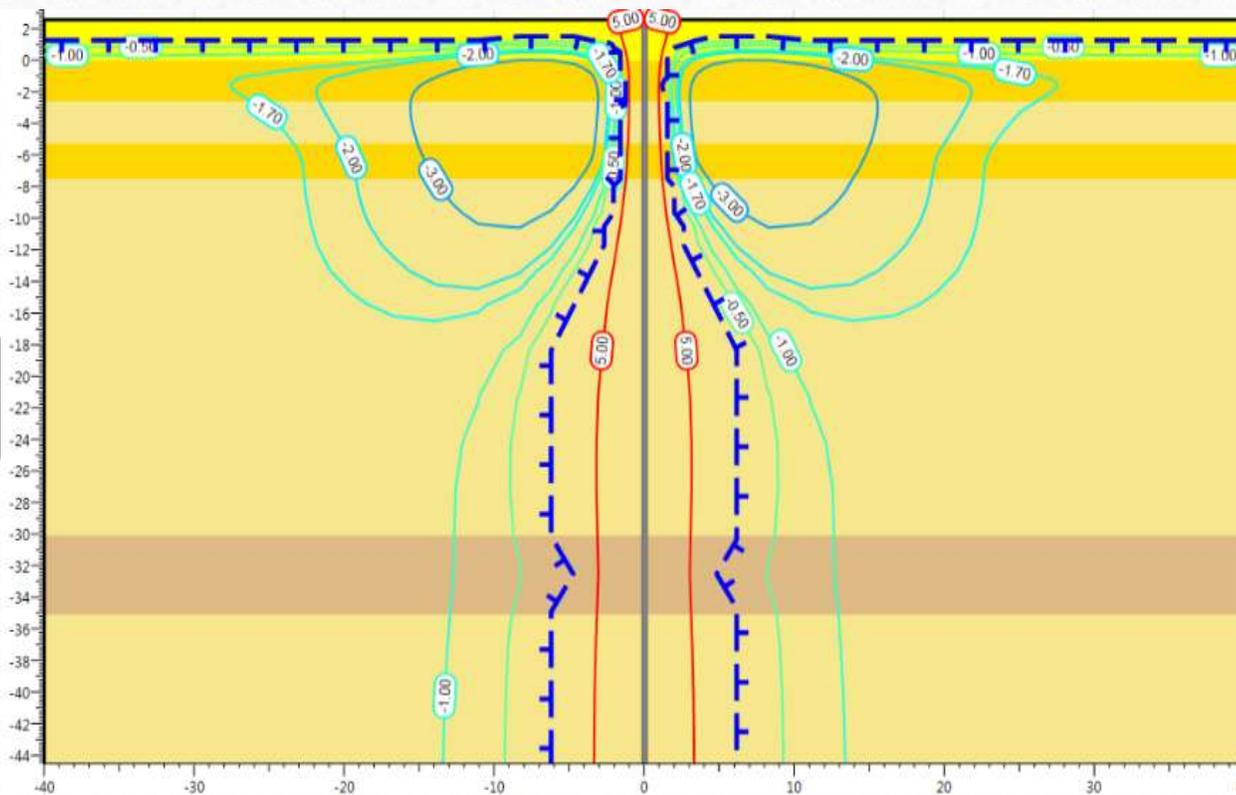
Теплоизолированное направление газовой скважины

Строительство и эксплуатация нефтегазовых скважин в арктических регионах сопряжены с осложнениями, связанными с формированием ореолов оттаивания в околоствольном пространстве, которые приводят к образованию приустьевых просадок грунта и деформациям околоскважинных сооружений и трубной обвязки.

С учетом геокриологических условий Обской и Тазовской губ предлагаются дополнительные меры по термостабилизации устьевых зон добывающих скважин, включающие применение:

- теплоизолированных направлений скважин (термокейсов) с пенополиуретановой теплоизоляцией с глубиной спуска до 40 м;
- сезоннодействующих систем охлаждения грунтов с глубиной спуска (до 40 м);
- теплоизолированных лифтовых труб с глубиной спуска (до 150 м).

## Результаты прогнозных теплотехнических расчетов, выполненных в программе «3D Frost», для месторождения Семаковское в Тазовской губе

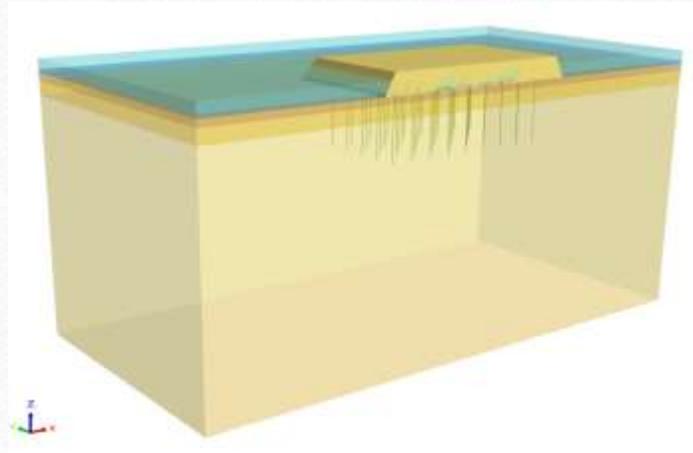


Фрагмент температурного поля, сформированного за 30 лет эксплуатации газодобывающей скважины при применении теплоизолированной лифтовой трубы и термостабилизаторов

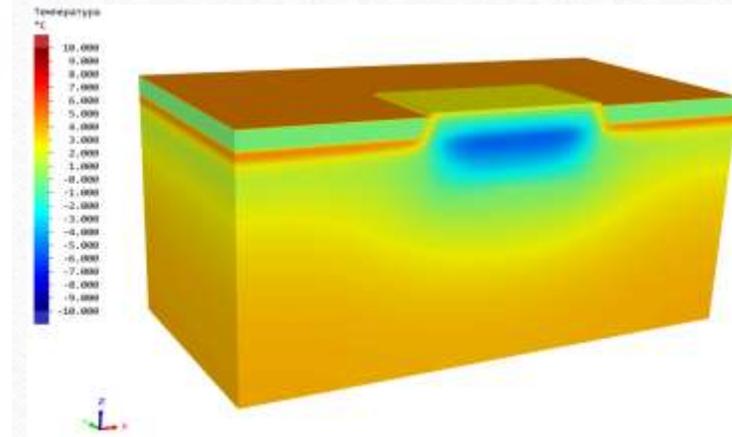
Даже при условии применения термоизолирующих направлений, в период эксплуатации газодобывающих скважин многолетнемерзлые грунты подвергаются оттаиванию из-за высокой температуры добываемого газа. По результатам прогнозных теплотехнических расчетов за 30 лет эксплуатации скважины с теплоизолированной конструкцией радиус ореола оттаивания ММП вокруг скважины достигает 10,0 м.

Правильно рассчитанное эффективное расстояние между термостабилизаторами и стволом скважины позволит сохранить мерзлый грунтовый массив и необходимую несущую способность свай, а применение теплоизолированной лифтовой трубы в верхней части позволит сократить расстояние между устьями скважин, и как следствие, уменьшить размеры самой площадки.

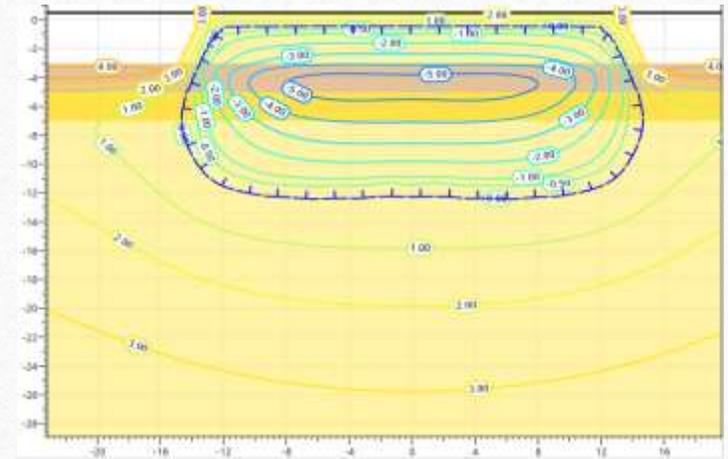
# Конструкция искусственного грунтово-ледового острова для круглогодичного освоения месторождений углеводородов прибрежной транзитной зоны Карского моря



Трехмерная расчетная модель



Температурные поля по грунтовому массиву.  
Сентябрь. Конец теплого периода. Пятый год  
работы охлаждающих устройств

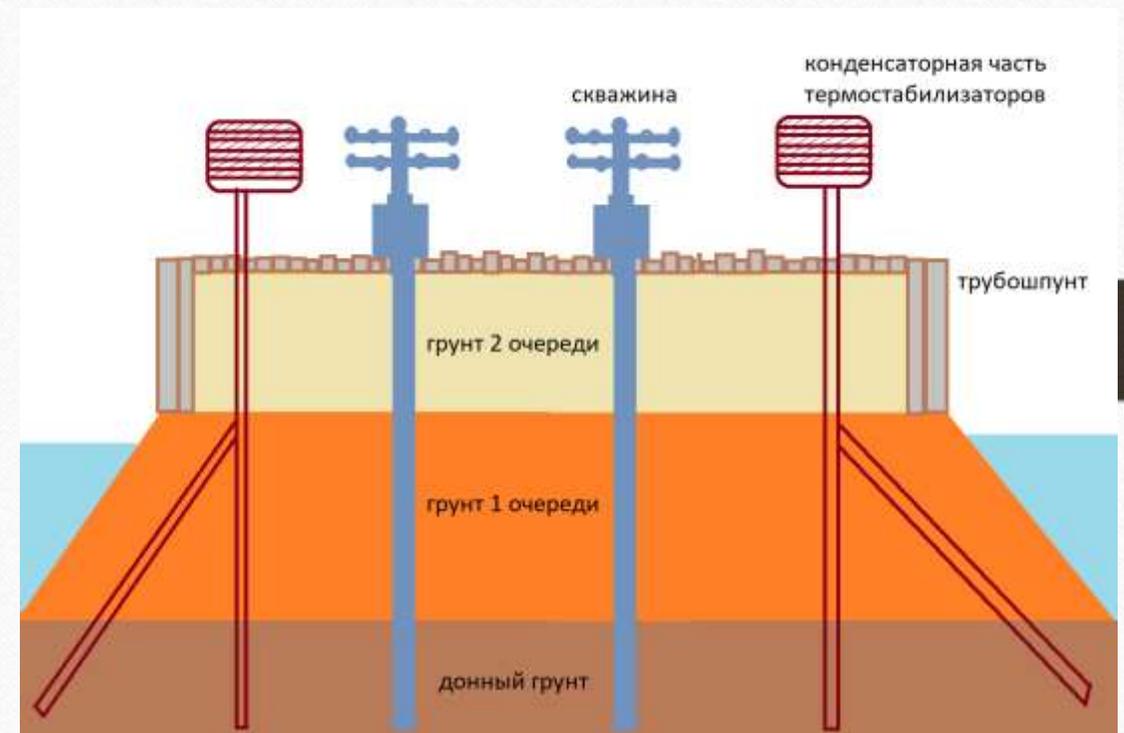
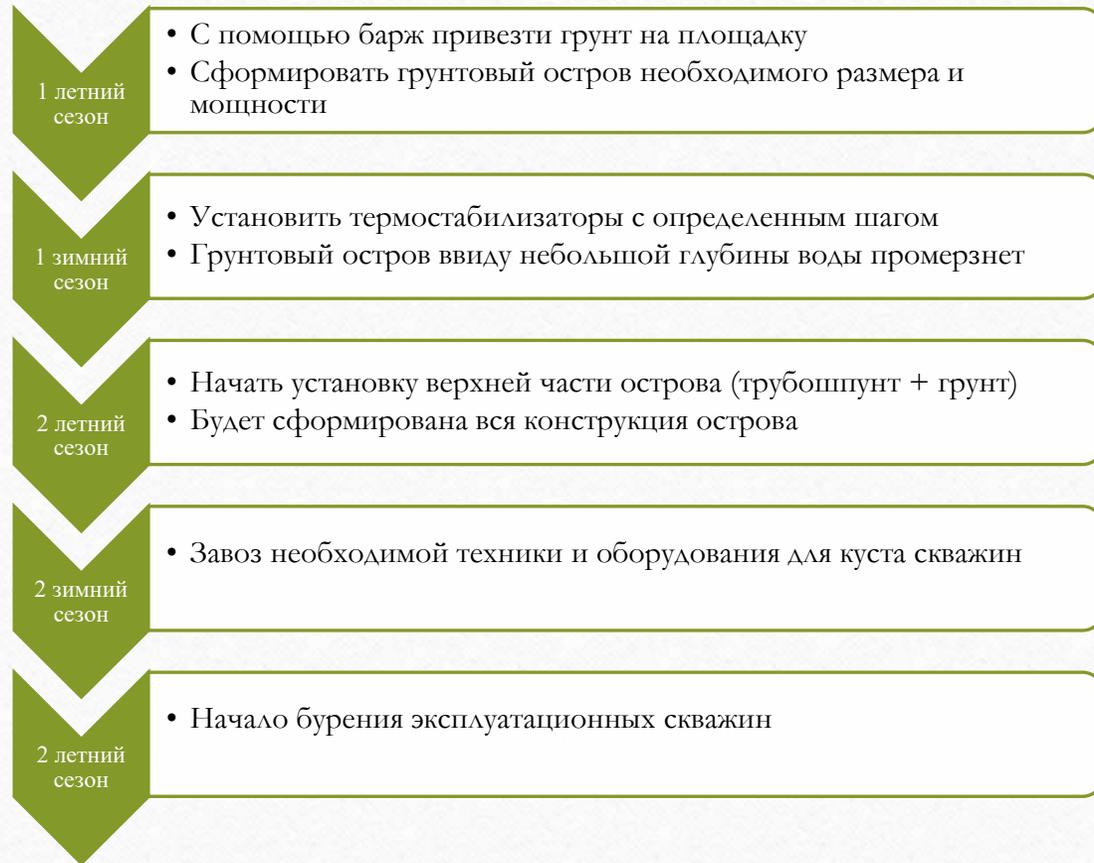


Температурные изолинии. Конец теплого периода.  
Пятый год работы сезонно-действующих устройств

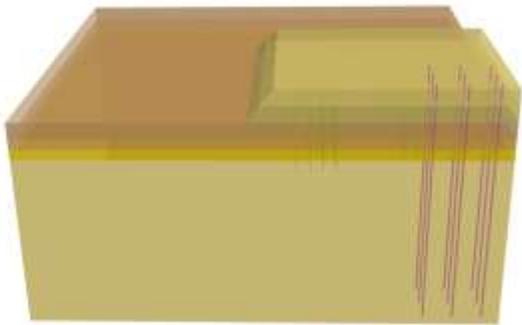
Прогнозные теплотехнические расчеты выполнены по программе «Frost 3D Universal».

В конце теплого периода после первого года работы сезонных охлаждающих устройств начал формироваться льдогрунтовый массив.

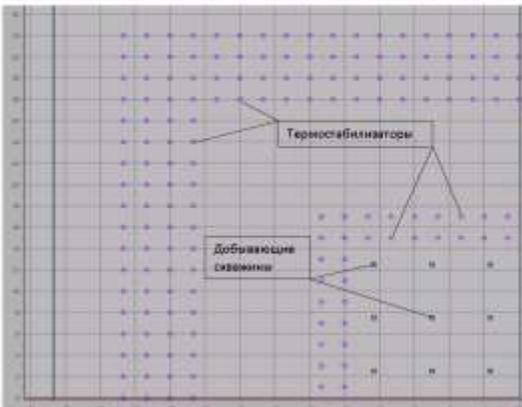
# Поэтапная технология строительства искусственного грунтово-ледового острова с помощью сезонно действующих охлаждающих устройств (термостабилизаторов)



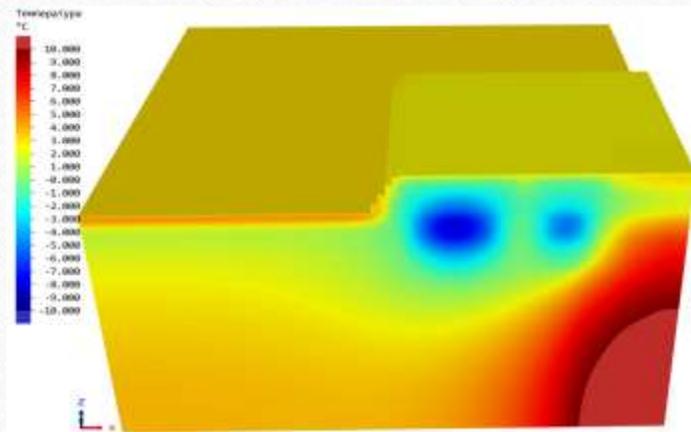
# Комплекс технических решений, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности газодобывающих скважин, пробуренных в грунтово-ледовом острове



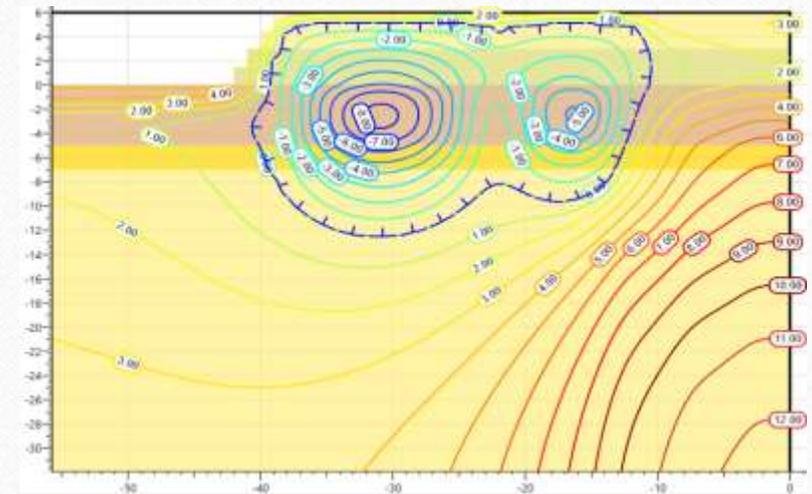
Трехмерная расчетная схема



Толщина теплоизоляции добывающих скважин составляет 100 мм. Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала  $0,03 \text{ Вт/м}^2\text{С}^\circ$ . На десятый год работы термостабилизаторов произошло полное слияние льдогрунтовых массивов. Теплового воздействия от добывающих скважин недостаточно для оттаивания острова.



Температурные поля. Поперечный разрез по грунтово-ледовому острову. Десятый год эксплуатации



## ВЫВОДЫ

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

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

На месторождениях Чугорьяхинское, Семаковское и Обское выявлены маломощные пласты приповерхностного газа толщиной 1-2 метра на глубине.

При выборе места постановки платформы для разведочного или поисково-оценочного бурения скважин необходимо учитывать вероятность наличия газонасыщенных осадков, газовых карманов в верхней части разреза.

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.

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.

Спасибо за внимание  
Thank you for your attention



Штольня в многолетнемерзлых породах (поселок Ямбург)