



Изучение геофизических и геокриогенных характеристик грунтов верхней части разреза Харасавэйского газоконденсатного месторождения

Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н., Нагодкина Ю.А., ООО «Ингеоком», г.Саратов

Материалы о геофизических и геокриогенных характеристиках грунтов в интервале верхней части разреза (ВЧР) по территории Харасавэйского газоконденсатного месторождения (ГКМ) по полуострову Ямал получены ООО «Ингеоком» и ООО «Геострой» в 2008-2009 годах при проведении комплексных инженерных изысканий на стадии «Проект». Геофизические исследования (ООО «Ингеоком») включали электроразведку методом ВЭЗ и сейсморазведку по методике КМПВ-МОГТ. Бурение опорных геокриологических скважин выполнялось ООО «Геострой» [1]. Комплексные инженерные изыскания проводились с целью уточнения границ и зон распространения высокольдистых отложений, залежей пластового льда, для составления карт инженерно-геокриологического районирования с последующей корректировкой положения проектных площадок кустов газовых скважин.

Геоморфологически территория Харасавэйского ГКМ представляет собой плоскую аккумулятивно-эрозионную равнину, расчлененную сетью рек, оврагов, озер и болот.

Верхняя часть разреза прибрежной материковой зоны на южном побережье Карского моря, морских и аллювиальных террас включает геокриогенные толщи, локальные линзы льда, пространственные практически повсеместно. В разрезе доминируют охлажденные толщи осадочных пород большой мощности, разрозненные массивы, линзы реликтовых сильнольдистых отложений и пресного фирнового льда [1].

Геофизические исследования выполнены по сети профилей суммарной протяженностью ~110 пог.км, с различной плотностью закрывшей исследуемую территорию Харасавэйского ГКМ на площади ~165 км². Сейсморазведочные работы по методике КМПВ-МОГТ выполнялись с современной цифровой сейсмической аппаратурой «SGD-SEL» и «SGD-SET» при ударном возбуждении сейсмическим источником «Геотон-06».

Технические характеристики аппаратурных комплексов

Сейсмическая аппаратура (разработки НПК «СибГеофизПрибор»-Россия, г. Новосибирск)

Линейная сейсмическая станция SGD-SEL

- Количество каналов регистрации – 48 или 24*
- Уровень собственных шумов регистрирующего канала - 0,15 мкВ
- Количество разрядов АЦП типа дельта-сигма - 23 плюс знак
- Диапазон рабочих температур окружающей среды от минус 20 до + 60 °С
- Максимальная потребляемая - 340·295·152 мм и масса – 5.5 или (3.5*) кг
- Запись сейсмической информации во встроенное энергонезависимое ЗУ
- Работа станции в автономном режиме под управлением встроенной микро-ЭВМ
- Просмотр информации на экране встроенного графического дисплея 640·480 точек

Такие характеристики, а также качество регистрации, габариты, низкое энергопотребление, широкий диапазон рабочих температур определяли эффективность ее применения в труднопроходимых, заболоченных районах Крайнего Севера.

Телеметрическая сейсмическая станция SGD-SET

- Количество каналов регистрации полевого модуля (ПМ) – два (или один)
- Тип встроенного геофона (для продольных волн) - GS-32СТ
- Тип встроенного геофона (для поперечных волн) - GS-20DX-2В
- Уровень собственных шумов регистрирующего канала - 0,15 мкВ
- Количество разрядов АЦП типа дельта-сигма - 23 плюс знак
- Диапазон рабочих температур окружающей среды от минус 40 до + 60 °С
- Максимальная потребляемая мощность ПМ – 0,7 Вт (один канал - 0,5 Вт)
- Масса звена из двенадцати ПМ с шагом между ПМ 5 метров – 16 кг
- Максимальное количество каналов регистрации станции – до 394
- Работа под управлением бортового модуля на базе микро-ЭВМ «ТИОН270»
- Просмотр информации на экране встроенного цветного дисплея 800·600 точек
- Запись сейсмической информации во встроенное энергонезависимое ЗУ

Существенное увеличение количества регистрирующих каналов обеспечивает высокую производительность сейсмических работ на линейных объектах с возможностью одновременной регистрации продольных и поперечных волн.

Цифровая электроразведочная аппаратура ЭРП (совместная разработка ЧП «Линия» - Украина, г. Севастополь и МГУ им. М.В. Ломоносова, ООО НПЦ «Геоскан» -Россия г.Москва)

Генератор ЭРП-1. Генератор создает на нагрузке прямоугольный сигнал «меандр» и постоянный ток. Частота выходного тока: 0 Гц; 1,22 Гц; 2,44 Гц; 4,88 Гц. Точность установки частоты не хуже 0,1%. Генератор имеет 7 нормированных значений выходного тока: 1,0; 2,0; 5; 10; 20; 50; 100 мА. Максимальная выходная мощность – 25 Вт. Нестабильность выходного тока при изменении сопротивления нагрузки относительно его верхнего значения не превышает 2%.

Измеритель ЭРП-1. Максимальная амплитуда измеряемого входного сигнала 5 В. Цена младшего разряда индикатора измерителя 0,1 мкВ. Уровень собственных шумов при замкнутом входе не более 0,2 мкВ. Чувствительность не хуже 1 мкВ. Входное сопротивление измерителя на частотах от 0 до 4,88 Гц изменяется от 30 до 10 Мом. Частотная характеристика измерителя удовлетворяет следующим требованиям: рабочие частоты измерителя равны 4,88 Гц; 2,44 Гц; 1,22 Гц. Ширина полосы пропускания по уровню 0,707 соответственно равны 0,1957 Гц; 0,0888 Гц; 0,04894 Гц. Подавление помехи с частотой 50 Гц составляет не менее 80 дБ. Нелинейность амплитудной характеристики не превышает ± 2%. Ток, потребляемый измерителем от одного блока аккумуляторов, не превышает 100 мА. Аппаратура допускает непрерывную работу в течение 8 часов. Время установления

рабочего режима ЭРП-1 не превышает 1 мин после включения питания. - температура окружающей среды от -20 до +40 °С; - относительная влажность воздуха 90% при температуре +30°С; Напряжение питания: блока генератора - +12,6 В от внутренней аккумуляторной батареи или от внешнего аккумулятора напряжением от +12,6 до +15 В, блока измерителя - от двух внутренних аккумуляторных батарей напряжением 9,6 В.

Широта спектра возможностей использования цифровой аппаратуры ЭРП-1 для методов электроразведки:

- методом сопротивлений на постоянном токе и переменном токе низкой частоты, в том числе с измерением полного вектора электрического поля - ВЭЗ, ЭП, СГ, МЗ, МДС и пр.;
- методом естественного электрического поля земли - ЕП;
- методом вызванной поляризации в варианте ИНФАЗ-ВП;
- позволяет решать задачи геологического картирования, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, гидрогеологии, геоэкологии, инженерной геологии, археологии, технической геофизики.

На проектных участках площадок кустов газовых скважин пробурены опорные геоэлектрические скважины глубиной ~50 м. В результате выполненных работ получены сведения о литологическом составе, криогенном строении пород, их физико-механических и теплофизических свойств, засоленности и температурного режима [2].

По результатам геофизических исследований по сети профилей изучены геоэлектрические и скоростные параметры верхней части разреза Харасавэйского ГКМ.

В изученном интервале разреза по данным бурения и геофизических исследований для грунтов установлена как прямая линейная зависимость, так и инверсионное соотношение геофизических параметров и видимой льдистости, что обусловлено влиянием фактора различной степени засоленности грунтов, изменяющейся для суглинков и глин в диапазоне от 0.1 до 1.2% и для песчаных грунтов - от 0.03 до 1.7%. Мощ-

ность песков и суглинков с льдистостью от 10 до 40 %. на изученной бурением площади изменяется от 3 до 30 м. Суммарная влажность грунтов (согласно ГОСТу 5180-84 пункту 2.1. под влажностью грунта понимают отношение мас-сы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной мас-сы, к массе высушенного грунта; влажность грунта выражается в процентах, а также допускается выражение в долях единиц (Д.е)) по данным лабораторных анализов изменяется в исследованном интервале глубин от минимальной ($W=0.21-0.25$ Д.е.) - для суглинков и песков, до максимальной ($W=2.5-3.5$ Д.е.) - для ледогрунта. По результатам термометрии, выполненной в опорных геоэкологических скважинах, температурный фон грунтов на глубине 1 м (в период с сентября 2008 г. по март 2009 г.) изменяется от +2 до -16°С. По разрезу до глубины 50 м температура изменяется от +2 до -6°С.

Региональная геоэлектрическая модель разреза обследованной территории построена на основе приемов многомерной фильтрации данных обработки глубинных зондирований ВЭЗ с установкой АВ/2=720 м. Обработка данных электроразведки БЭЗ выполнялась по программе IPI2Win разработанной в МГУ для автоматической и полуавтоматической (интерактивной) интерпретации данных различных модификаций вертикальных электрических зондирований, в том числе традиционными установками. (А.А. Бобачев, И.Н. Модин, В.А. Шевнин, 1990-2004. ООО «Геоскан-М», г. Москва).

Программа IPI2Win предназначена для одномерной интерпретации данных ВЭЗ (БЭЗ) по одному профилю наблюдений. Нацеленность на получение коррелируемого слоистого геологического разреза является отличительной особенностью программы IPI2Win по сравнению с распространенными программами автоматического решения обратной задачи.

В основу программы IPI2Win положена концепция профильной интерпретации. Совокупность данных по профилю рассматривается как отражение строения геологического разреза по профилю в целом, а не как набор независимых кривых зондирования, с которыми работают по отдельности. Эта концепция воплощается применением в основном интерактивной, а не автоматической, интерпретации.

Программа IPI2Win ориентирована на решение одномерных прямой и обратной задач в методах ВЭЗ (БЭЗ) для часто применяемых установок на разрезах с контрастом сопротивлений, изменяющихся в широких пределах (от 0.0001 до 10000 для двухслойных моделей).

По результатам интерпретации по программе IPI-2WIN определялись послойные геоэлектрические параметры разреза для каждого пикета ВЭЗ. В исследованном интервале разреза (от 0 до 60 м) выделено до 9 геоэлектрически контрастных слоев в составе 3 геоэлектрических комплексов. В составе комплексов выделены контрастные по удельным электрическим сопротивлениям слои. В интерпретируемых величинах удельного электрического сопротивления отражаются литологические, гид-

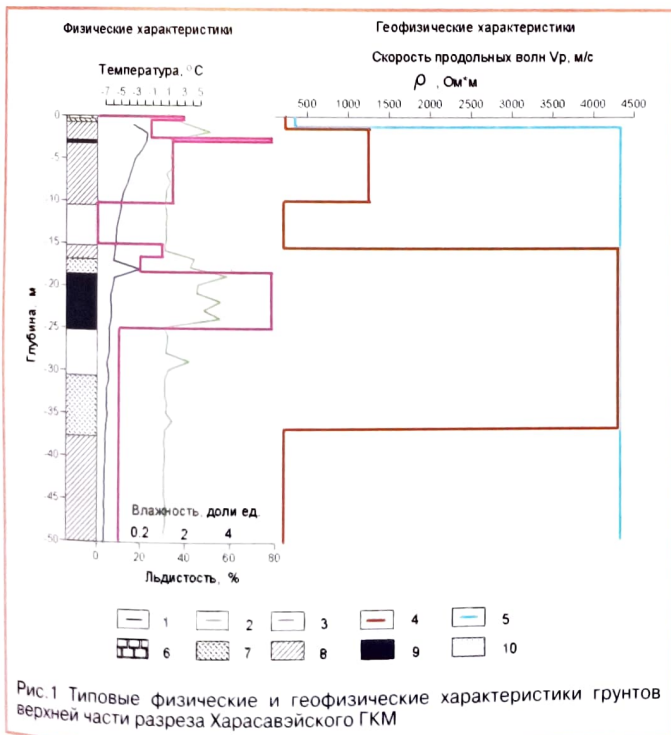


Рис.1 Типовые физические и геофизические характеристики грунтов верхней части разреза Харасавэйского ГКМ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

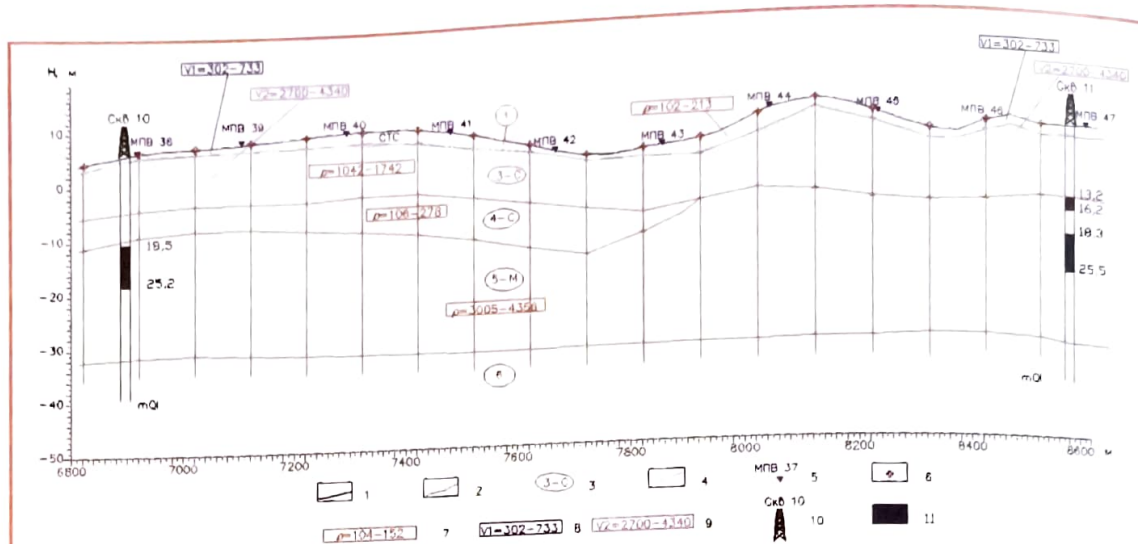


Рис. 2 Фрагмент геолого-геофизического разреза Харасавэйского ГКМ по результатам профильных геофизических исследований

рогеологические и геокриологические характеристики.

Слои с индексом «С» отражают высокую степень засоления мерзлых грунтов. Слои с индексом «М» характеризуют высокольдистые грунты.

Мощность локальных линз ледогрунта в верхнем геоэлектрическом слое (сезонно-мерзлый слой в период бурения скважин с сентября 2008 г. по март 2009 г.) и в геоэлектрическом комплексе «3» (слой 3-М - мерзлые суглинки) по данным бурения составляет 1 - 2 м. Мощность грунтов с видимой льдистостью $li \geq 40\%$ в интервале слоя «1» и комплекса «3» (слой 3-М) по данным бурения достигает 5 м. В интервале геоэлектрических комплексов «4» и «5» (слои 4-М и 5-М, мерзлые супеси, суглинки и пески) суммарная мощность пластов ледогрунта достигает 10 м. (Рис.2 Фрагмент геолого-геофизического разреза Харасавэйского ГКМ по результатам профильных геофизических исследований).

Геофизические характеристики слабльдистых грунтов определяются в основном степенью их засоленности. Аномально высокими значениями удельного электрического сопротивления по данным электроразведки ВЭЗ выделены в разрезе интервалы развития высокольдистых грунтов (суглинки, супеси, пески с видимой льдистостью $li \geq 40\%$, и ледогрунт). Удельное электрическое сопротивление высокольдистых грунтов с видимой льдистостью от 10 до 70%, выделенных в интервале глубин от 1,5 до 50 м., изменяется от 1000 до 4500 и более Ом*м. Кровля высокоомных высокольдистых грунтов геоэлектрического комплекса «3» коррелируется в разрезе по геофизическим профилям на глубинах от 2 до 6 м. Мощность локальных линз не превышает 2 метров. В коррелируемых геоэлектрических комплексах «4» и «5» высокольдистые грунты развиты в интервале глубин 15 - 40 м.

Граничная скорость продольных волн ниже первой жесткой границы оценивается в диапазоне величин от 1000 до 4900 м/с. Скорость продольных волн в интервале СТС изменяется от 200 до 400 м/с.

Видимая льдистость, для поднятых грунтов в интервале глубин до 1 м. оценивается значениями от 20 до 70 %. Что также является фактором, определяющим большой диапазон изменения величин удельного электрического сопротивления и скорости продольных волн в верхнем слое находящемся в сезонно талом (СТС) или сезон-

но-мерзлом (СМС) состоянии. В распределении видимой льдистости (li) определенной по образцам грунтов при разбуривании верхней части разреза (0 - 50 м) на территории Харасавэйского ГКМ установлена общая закономерность уменьшения её с глубиной. Для мерзлых торфов развитых в интервале глубин 0 - 4 м видимая льдистость изменяется от 40 до 60%. Для суглинков и ледогрунта, развитых в интервале глубин от 0 до 50 м. видимая льдистость изменяется от 90 до 10 %, с общей тенденцией снижения с глубиной. Для песков и супесей видимая льдистость изменяется от 80 до 5 %, также с общей тенденцией снижения её с глубиной.

По линиям геофизических профилей были построены сводные геолого-геофизические разрезы (фрагмент одного из построенных геолого-геофизических разрезов приведен на Рис. 2). Определены геофизические параметры слоев выделенных в изученном интервале ВЧР (0 - 50 м.). Выделены зоны и интервалы аномально высоких значений удельного электрического сопротивления, отражающие присутствие в разрезе пластов и локальных линз ледогрунта и льда. В величинах интервальных геоэлектрических параметров (удельное электрическое сопротивление) отражается зональность распределения мощности, как правило, высокоомных незасоленных песчаных грунтов в верхнем интервале разреза Харасавэйского ГКМ, установленная по данным бурения опорных геокриологических скважин. Удельное электрическое сопротивление вяло-мерзлых и мерзлых грунтов с видимой льдистостью от 5 до 80 %, выделенных в интервале глубин от 1,5 до 50 м. по данным электроразведки ВЭЗ, изменяется от 500 до 4500 Ом*м. Аномально высокими значениями удельного электрического сопротивления ($\rho_{уд.} > 3500$ Ом*м) охарактеризованы в разрезе Харасавэйского ГКМ зоны и интервалы развития высокольдистых мерзлых грунтов (суглинки, супеси, пески, ледогрунт) и пластовые льды. Подошва сезонно-талого слоя (СТС), кровля многолетнемерзлых грунтов (ММГ) коррелируется в разрезе по геофизическим данным на глубинах от 0,5 до 3 м. Скорость продольных волн в интервале развития сезонно-талого слоя (V_1) изменяется от 200 до 600 м/с. Граничная скорость продольных волн ниже первой жесткой границы в интервале ММГ (V_1) изменяется в диапазоне значений от 2000 до 4900 м/с. На Рис. 2



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ТЕХНОЛОГИИ

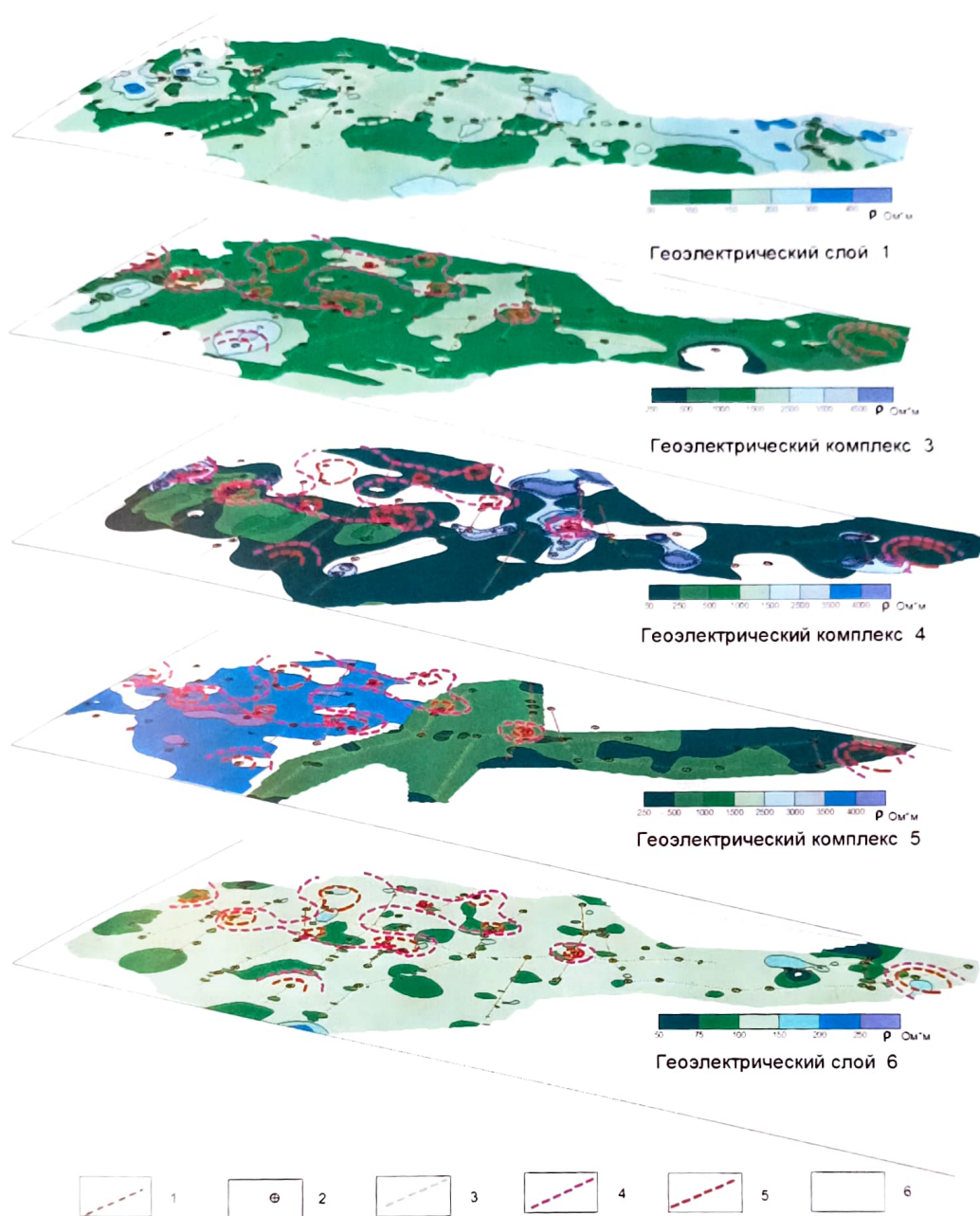


Рис. 3 Геoeлектрическая модель верхней части разреза (ВЧР) Харасавейского ГКМ

приведен фрагмент одного из геолого-геофизических разрезов Харасавейского ГКМ, построенных по результатам профильных геофизических исследований.

По результатам комплексной интерпретации материалов бурения и геофизических исследований в верхнем интервале изученного разреза Харасавейского ГКМ локализованы зоны и интервалы повышенной льдистости грунтов. Как аномальные зоны с повышенной льдистостью грунтов в выделенных геoeлектрических комплексах интерпретируются зоны с аномальными максимумами значений удельных электрических сопротивлений относительно фоновых. Они имеют, как правило, сквозной характер в пределах выделенных геoeлектрических комплексов 3, 4 и 5 с незначительными изменениями площадных размеров и конфигурации в плане относительно смоделированных зон максимальной льдистости грунтов вскрытых опорными гео-

криологическими скважинами. Зоны максимальной льдистости ($li \geq 60\%$) по латерали имеют ограниченное распространение в интервале глубин 0,3 – 5 м. и 10 – 25 м.

В результате выполненных комплексных геофизических исследований и бурения опорных геокриологических скважин получена информация о геофизической и геологической модели верхней части разреза (ВЧР), физических и геофизических характеристиках грунтов Харасавейского ГКМ. В границах обследованной территории выделены в разрезе и локализованы в плане зоны высокольдистых грунтов. Интервалы повышенной льдистости грунтов (до образований линз ледогрунта и пластового льда) приурочены к глубинам 0,3 – 5 м. и 10 – 25 м.

Полученная информация дополняет результаты инженерных изысканий, выполненных на стадии «Проект» при проектировании мест обустройства площадок кустовых газовых скважин.