

## МЕРЗЛЫЕ И ОХЛАЖДЕННЫЕ ГРУНТЫ АКВАТОРИИ БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ

<sup>1</sup>Рокос С.И., <sup>2</sup>Костин Д.А., <sup>1</sup>Тулапин А.В., <sup>1</sup>Куликов С.Н., <sup>1</sup>Арушанян Л.А.

<sup>1</sup>АО «АМИГЭ», Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Мурманский Государственный Технический Университет, Мурманск, Россия

По данным инженерно-геологического бурения и термостатического зондирования в составе криолитозоны акватории Байдарацкой губы выделены мерзлые и охлажденные грунты. Многолетнемерзлые грунты, включающие текстурный лед, развиты в виде локального массива в северо-восточной части акватории. Также выделены сезонномерзлые и охлажденные образования. В составе охлажденных грунтов присутствуют как многолетние, так и сезонные разновидности. Приведены данные о стратиграфии и строении верхней части разреза, составе, засоленности и температурах мерзлых, охлажденных и талых отложений.

Ключевые слова: *Карское море, Байдарацкая губа, четвертичные отложения, многолетнемерзлые грунты, сезонномерзлые грунты, охлажденные грунты, засоленность грунта, температура грунта, термостатическое зондирование*

В работе использованы материалы инженерно-геологических изысканий 1988-2006 гг., выполненных АО АМИГЭ для строительства перехода магистрального газопровода Ямал-Воркута через Байдарацкую губу Карского моря. Изыскания проводились по трассе в акватории и на примыкающем побережье в коридоре длиной около 70 км (акваториальная часть) и шириной 500-1000 м. В числе прочих видов работ здесь было выполнено инженерно-геологическое бурение на глубину от 5-10 до 20-40 м от поверхности дна (всего в акватории пробурено около 638 скважин) и термостатическое зондирование на глубину от 4-11 до 20-21 м от дна (40 точек зондирования).

По материалам бурения в восточной части трассы был выявлен массив многолетнемерзлых грунтов, содержащих в своем составе лед (Рис. 1, 2). Данный массив прослеживается на протяжении около 10,5 км по линии трассы (между скважинами №№ 867 и 1908). Его кровля была вскрыта рядом скважин на глубине от 12 до 20-30 м от дна при глубине моря от 12 до 18 м. С многолетнемерзлыми толщами прилегающего побережья данный массив не связан и обособляется от них обширным сквозным таликом.

*Многолетнемерзлые льдистые грунты* представлены морскими образованиями казанцевского горизонта. В их составе присутствуют пластичномерзлые суглинки с крупносетчатой криотекстурой (льдистость около 20%), а также высокольдистые (льдистость до 80% и более) суглинки с атакситовой криотекстурой и ледогрунт (пластовый лед). Засоленность пластичномерзлых суглинков изменяется от 0,32 до 0,49%, тип засоления хлоридно-натриево-калиевый морской. В грунтах с атакситовой криотекстурой и ледогрунте засоленность, по-видимому, значительно ниже. Пластовый лед и крупные включения текстурного льда прозрачные стекловатые, на вкус абсолютно пресные, что говорит об их весьма низкой засоленности.

Температура пластичномерзлых суглинков, измеренная *in situ* с помощью термостатического зондирования, близка к температуре начала замерзания (-0,84...-0,63°C) и составляет -0,97...-0,92°C (Рис. 3). Температура начала замерзания рассчитана по засоленности и влажности грунта согласно [СП 25.13330.2012, 2012].

Температура высокольдистых отложений и ледогрунта не измерялась, т.к. конус с температурным датчиком в них внедрить не удалось. По-видимому, ее значения в этих грунтах близки к -1°C. Температура же замерзания в силу весьма низкой засоленности, вероятно, близка к 0°C.

Температуры, измеренные с помощью термометра-щупа в кернах, полученных из высокольдистых грунтов и ледогрунта, а также глубже подошвы указанных образований в пластичномерзлых отложениях, достигают значений от -1,4 до -1,6°C.

По-видимому, локальный мерзлый массив, включающий пластичномерзлые и высокольдистые разновидности (в т.ч. ледогрунты и пластовые льды) сформировался в течение последней сартанской регрессии.

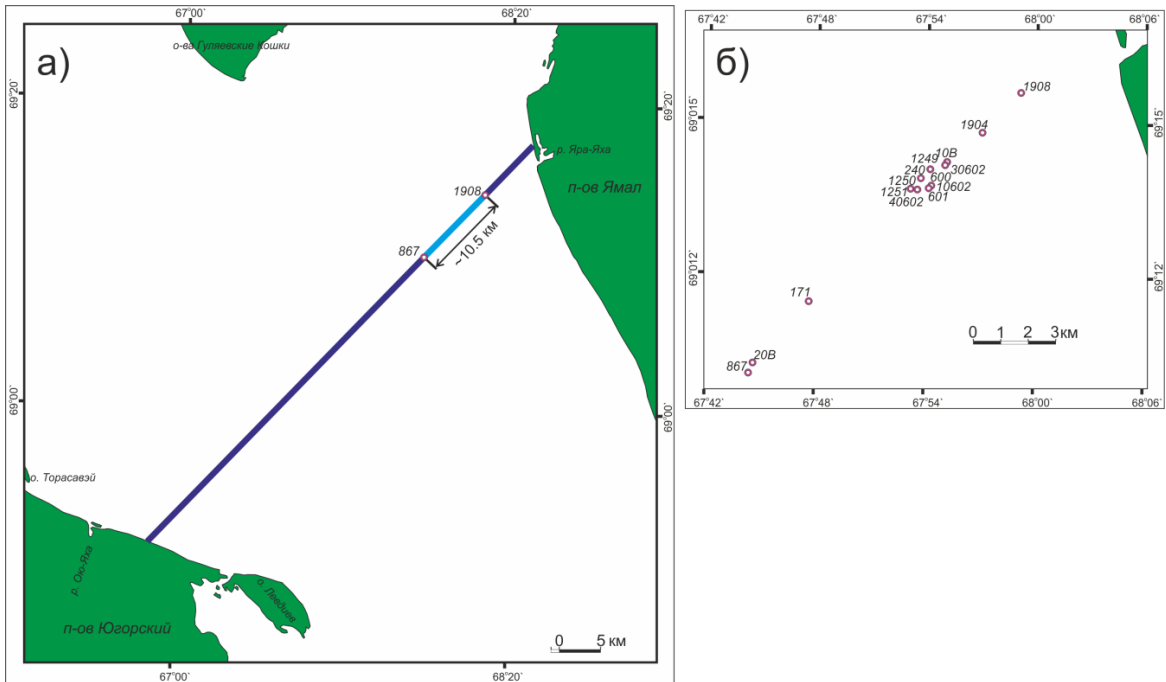


Рис. 1. Местоположение участка распространения многолетнемерзлых грунтов (а) по трассе газопровода и местоположение скважин, вскрывших мерзлые грунты (б)

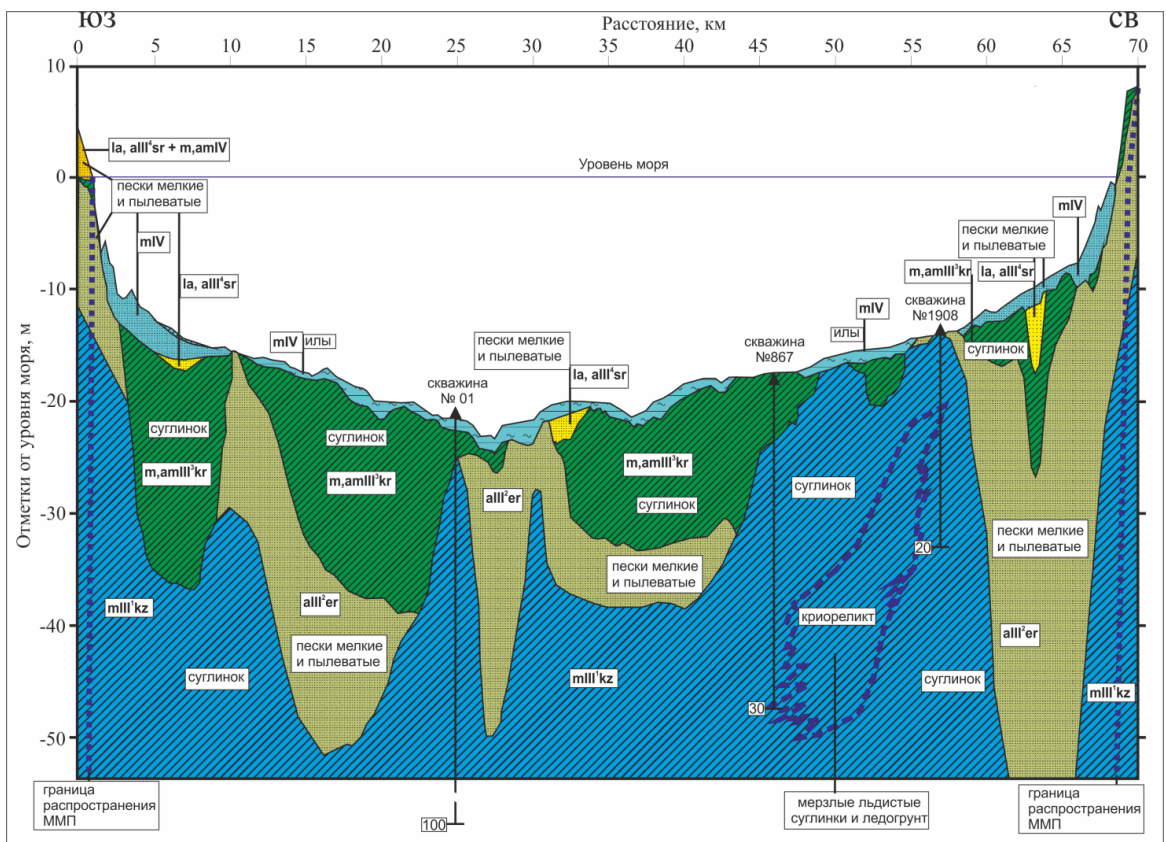


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез

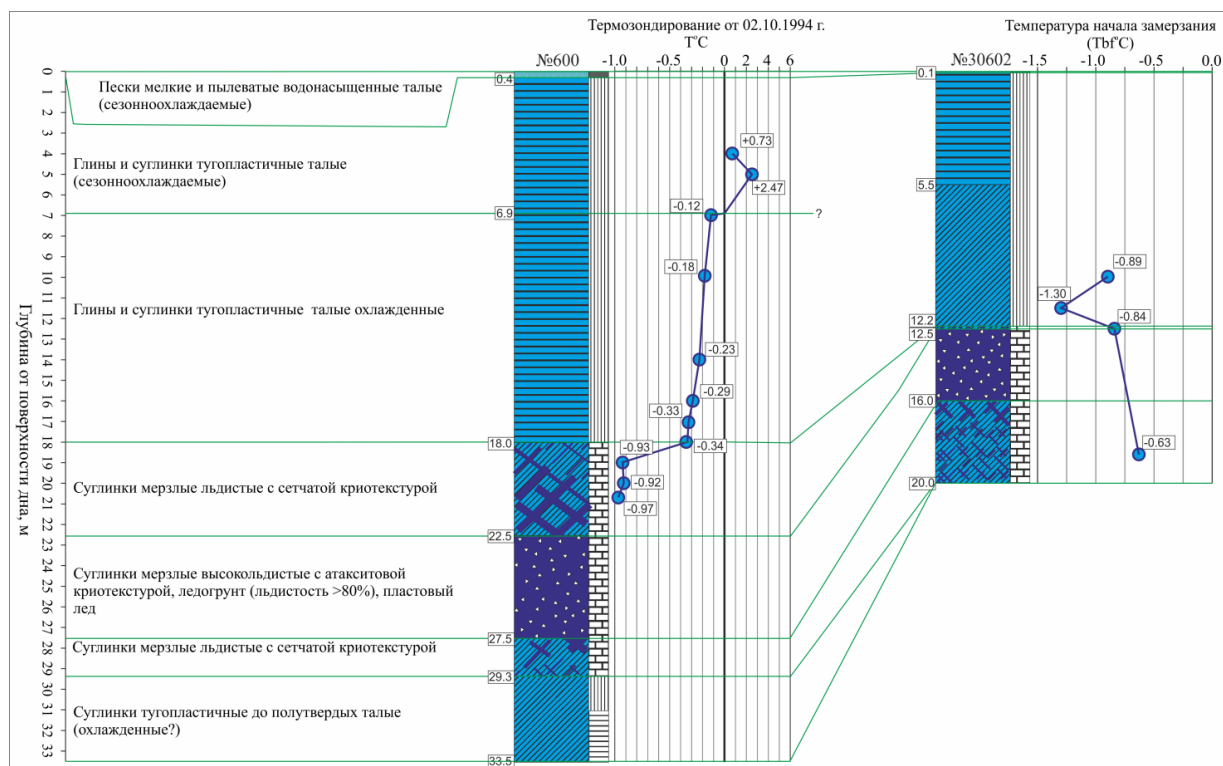


Рис. 3. Температуры многолетнемерзлых грунтов

В ходе этого события значительные площади шельфа Печорского и Карского морей оказались осушенными до глубины около 100 м и испытали глубокое эпигенетическое промерзание. Последующая трансгрессия современного арктического бассейна привела к весьма существенной деградации, сформированной при регрессии мерзлой толщи. К настоящему времени мерзлые льдистые отложения сохранились лишь на отдельных участках, разделенных обширными таликами [Рокос и др., 2009]. В соответствии с этим мерзлый массив Байдарацкой губы рассматривается нами как локальный сартанский криореликт.

У побережий п-вов Югорский и Ямал при бурении со льда рядом скважин, пробуренных в зимний период, на удалении до 100-200 м от уреза воды и при глубине моря менее 2,5 м также были вскрыты мерзлые льдистые грунты. Эти грунты залегают первыми от поверхности дна, их мощность не превышает 2 м. В летнее время признаков наличия здесь мерзлых грунтов не обнаружено. По-видимому, данные образования являются *сезонномерзлыми* и формируются на участках, где припайный лед касается дна.

Измерения температур, выполненные при термостатическом зондировании, позволили выделить в составе криолитозоны рассматриваемого района также и охлажденные грунты (согласно [ГОСТ 25100-2020, 2020] засоленные грунты с отрицательной температурой, не содержащие в своем составе льда). По результатам этих измерений был построен геотермический разрез. На указанном разрезе нулевая изотерма протрассирована на глубинах от 3,0 до 8,4 м (Рис. 4). Температуры грунтов, не содержащих в своем составе льда и залегающих глубже подошвы вскрытых скважинами многолетнемерзлых образований, также, вероятно, имеют отрицательные значения. Соответственно, и эти грунты следует отнести к охлажденным.

Очевидно, что в верхнем интервале осадочной толщи до глубины 4-11 м от дна, в котором производилось статическое термозондирование, температура грунта в значительной степени контролируется температурой придонных вод. При повышении этой температуры изотерма 0°C опускается вниз по разрезу, при понижении поднимается. Согласно [Природные условия..., 1997] среднегодовая температура придонного слоя воды на большей части акватории -0,81...-0,55°C. В мае эта температура достигает

минимальных значений  $-1,75...-1,57^{\circ}\text{C}$ . В сентябре придонные воды прогревается до максимумов, составляющих  $+2,97...+4,45^{\circ}\text{C}$ .

Поскольку термостатическое зондирование выполнялось в наиболее теплый сезон с 20 по 30 сентября 1996 г., зафиксированное положение нулевой изотермы является, очевидно, наиболее низким. Соответственно, грунты, залегающие глубже этой изотермы, имеют отрицательную температуру в течении круглого года. Это позволяет рассматривать их как *многолетнеохлажденные*.

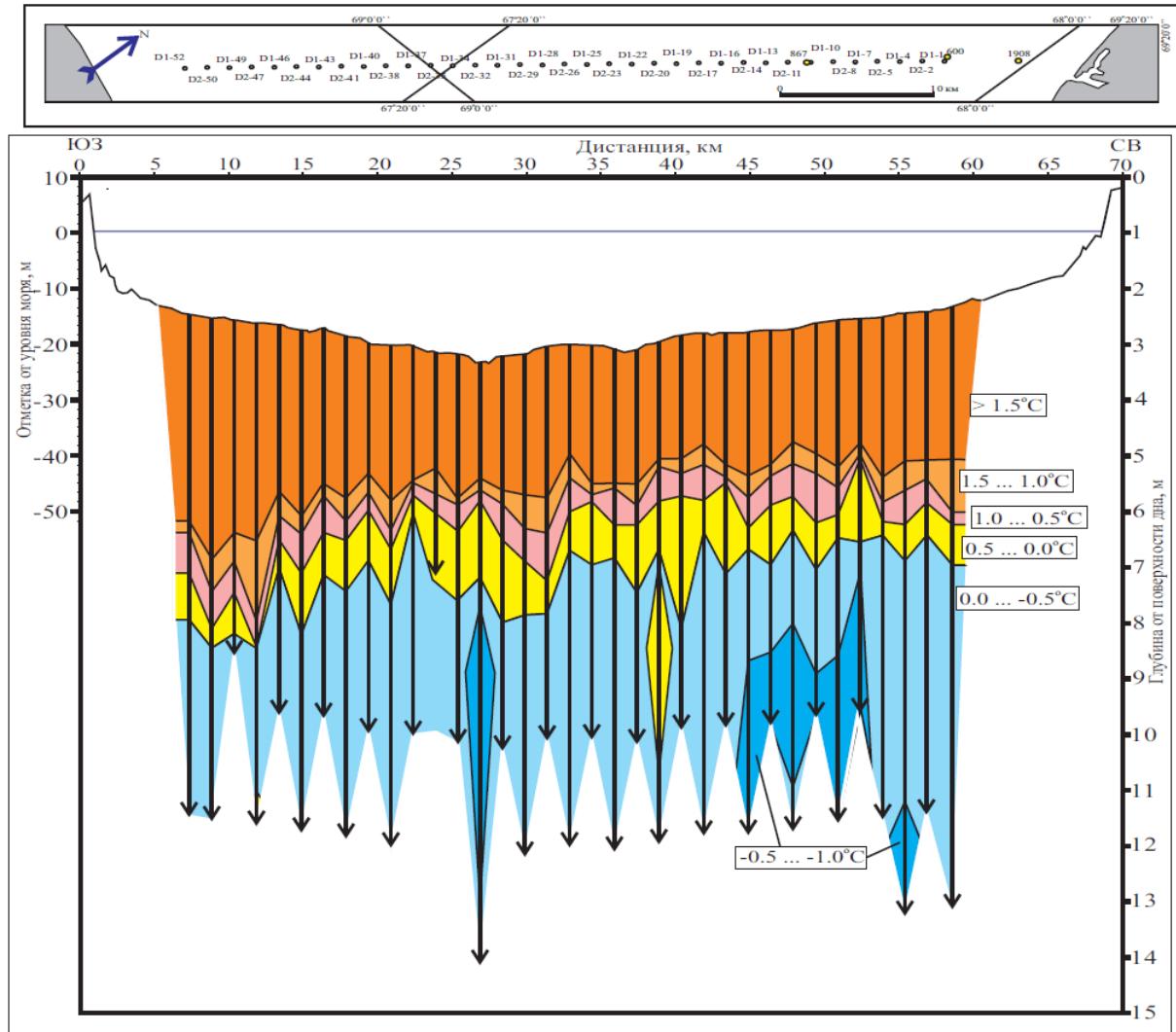


Рис. 4. Геотермический разрез  
Положение точек термостатического зондирования приведено на схеме сверху

Осадочные образования, залегающие выше прослеженной в разрезе нулевой изотермы и характеризующиеся в теплые сезоны года положительной температурой, рассматриваются как талые. В зимнее время, когда температура воды придонного горизонта понижается до отрицательных значений, они, вероятно, большей своей частью переходят в *сезонноохлажденное* состояние.

Температуры начала замерзания грунтов, рассчитанные по засоленности (Рис. 5), верхнего 10-метрового интервала глубоководной части акватории составляют в основном  $-2,5...-1,2^{\circ}\text{C}$ . В тоже время, температурные минимумы придонных вод могут понижаться и достигать границ указанного диапазона. Это позволяет предположить, что в относительной глубоководной части рассматриваемой акватории могут также формироваться и *сезонномерзлые* льдистые грунты. Для образования многолетнемерзлых

льдистых отложений за счет субаквального промерзания в глубоководной части акватории среднегодовая температура придонных вод имеет недостаточно низкие значения.

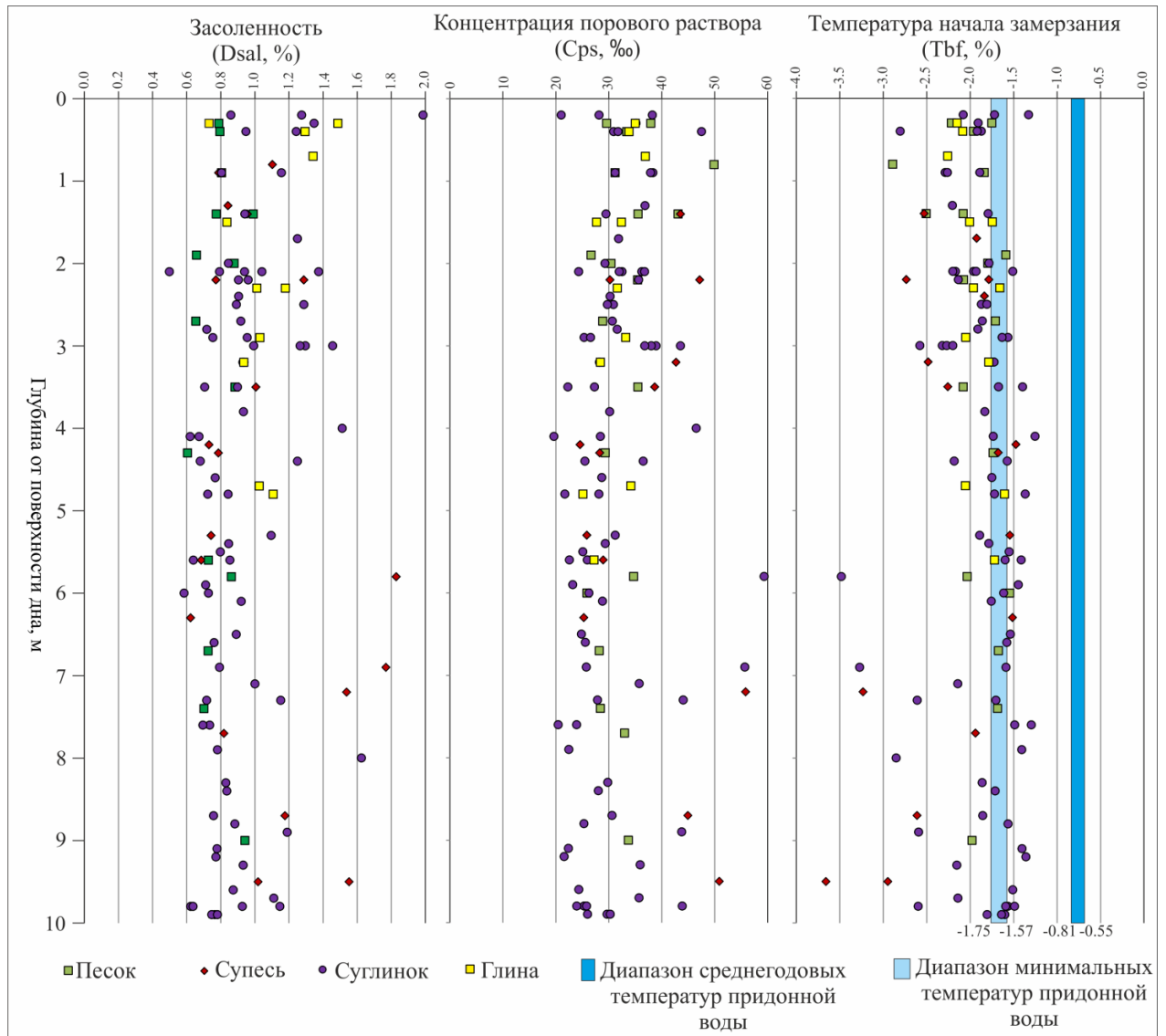


Рис. 5. Сводные графики изменения по разрезу засоленности (Dsal), концентрации порового раствора (Cps) и температуры начала замерзания (Tbf)

## ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. М., Стандартинформ, 2020, 38с.

Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал-Центр. М.: ГЕОС, 1997, 442 с.

Рокос С.И., Длугач А.Г., Локтев А.С., Костин Д.А., Куликов С.Н. Многолетнемерзлые породы шельфа Печорского и Карского морей: генезис, состав, условия распространения и залегания // Инженерные изыскания. 2009. № 10. с. 38-41

СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М., Минрегион России, 2012, 123 с.

## **FROZEN AND COOLED SOILS OF THE BAYDARA BAY OFFSHORE**

<sup>1</sup>*Rokos S., <sup>2</sup>Kostin D., <sup>1</sup>Tulapin A., <sup>1</sup>Kulikov S., <sup>1</sup>Arushnyayn L.*

<sup>1</sup>JSC «Arctic-Marine Engineer-Geological Expeditions», Murmansk, Russia

<sup>2</sup>Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia

There were frozen and cooled soils identified according to geotechnical drilling and temperature cone penetration test in the permafrost of the Baydara Bay offshore. There are frozen icing soils developed as a local massif in the NE of the water area. There are seasonally frozen and cooled formations also identified. The cooled soils contain both perennial and seasonal varieties. Data on the stratigraphy and structure of the upper part of the section, composition, salinity and temperatures of frozen, cooled and thawed deposits are given.

Keywords: *Kara Sea, Baydara Bay, quaternary deposits, permafrost, seasonally frozen soil, cooled soil, soil salinity, soil temperature, temperature cone penetration test*