



ТЕМПЕРАТУРА И ЗАСОЛЕННОСТЬ ГРУНТОВ КРИОЛИТОЗОНЫ МЕЛКОВОДНОЙ АКВАТОРИИ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

✉ С.И. Рокос, С.Н. Куликов

АО «АМИГЭ», Мурманск, Россия

✉ RokosSI@rusgeology.ru

Субаквальная реликтовая криолитозона, развитая в пределах рассматриваемого региона, включает мерзлые льдистые отложения и талые охлажденные грунты, не содержащие в своем составе льда. Мерзлые грунты имеют островное распространение. Массивы мерзлых грунтов разделены обширными таликами, в которых развиты протаявшие охлажденные образования. Показано, что температура многолетнемерзлых грунтов в диапазоне глубин от поверхности дна до 100 м изменяется безградиентно от -1.5 до 0.0°C и весьма близка к температуре замерзания и/или таяния. Тип засоления мерзлых и охлажденных грунтов в основном морской хлоридный. По своей засоленности мерзлые образования относятся в основном к незасоленным или слабозасоленным грунтам, концентрация солей в поровом растворе обычно не превышает 20 %. Протаявшие грунты в таликах и слоях, перекрывающих мерзлые отложения, в основном засоленные, концентрации солей в поровом растворе изменяется от 20-30 до 40-50 % и более. Температура этих образований изменяется от -0.24°C до околонулевых значений. Предполагается, что изменения показателей засоленности и состава ионного комплекса водорастворимых солей в протаявших и мерзлых грунтах в основном обусловлены их миграцией при промерзании.

Ключевые слова: Печорское море, субаквальная криолитозона, многолетнемерзлые грунты, охлажденные грунты, температура грунта, засоленность грунта, четвертичные отложения

Введение. В границах арктического шельфа, который включает и мелководную акваторию Печорского моря (глубина моря менее 100 м), широко развита субаквальная криолитозона. Она сформировалась в течение последней поздненеоплейстоценовой регрессии и включает как мерзлые (льдистые), так и охлажденные грунты. В течение этой регрессии уровень моря на всем арктическом шельфе опустился до отметок около -100 м. В условиях холодного климата это привело к глубокому (до 300-500 м от поверхности) промерзанию осадочной толщи [Angelopoulos et al., 2020; Osterkamp, 2001; Куликов, Рокос, 2017; Рокос и др., 2009]. Температура и засоленность отложений субаквальной криолитозоны, очевидно, определяются условиями, сформированными ее эволюцией или историей развития. В этой связи представляется необходимым рассмотреть данные о температуре и засоленности криолитозоны рассматриваемой акватории как результат эволюции субаквальной криолитозоны мелководной акватории Печорского моря.

Представленная работа основана на материалах, полученных АО «Арктические Морские Инженерно-Геологические Экспедиции» (АМИГЭ).

Мерзлые и охлажденные грунты. В мелководной акватории Печорского моря мерзлые грунты (имеющие отрицательную температуру и содержащие в своем составе лед) и охлажденные отложения (имеющие отрицательную температуру, но не содержащие льда) залегают в верхней части разреза в составе толщи плиоцен-четвертичных отложений.

Стратиграфия верхней части разреза. Согласно стратиграфической схемы, принятой в АМИГЭ [Куликов, Рокос, 2017], данная толща расчленяется на следующие стратиграфо-генетические комплексы (снизу вверх):

- Морской плиоцен-эоплейстоценовый $N_2-e?$
- Морской, ледово-морской нижне-среднеэоплейстоценовый (роговская свита)
 - Нижняя песчаная пачка $mI-II^1rg$
 - Верхняя глинисто-суглинистая пачка $m-gmI-II^2rg$

- Морской верхнелепестконовый (микулинский горизонт) $mIII^1tk$
- Озерно-аллювиальный верхнелепестконовый (калининский горизонт) $laIII^2kl$
- Морской, аллювиально-морской верхнелепестконовый (ленинградский горизонт) $mIII^3ln$
- Морской голоценовый mH

Условия залегания и литология. В границах мелководной области Печорского моря мерзлые грунты были вскрыты целым рядом скважин (рис.1, 2). Наибольшее количество случаев обнаружения мерзлых грунтов (в девяти скважинах) имело место на участке акватории, примыкающем к пос. Варандей (рис. 3). На объекте «Диапиры» мерзлые отложения установлены в кернах четырех скважин (рис. 4). В других районах Печорского моря мерзлые образования обнаружены в единичных разрозненных скважинах.

В разрезах скважин мерзлые толщи имеют в основном слоистое строение. В кернах наблюдается чередование интервалов мерзлых льдистых и талых охлажденных грунтов. Кровля мерзлых толщ залегает на глубине от 17 до 53 м ниже дна. Суммарная мощность достигает 20-30 м и более. Подошва мерзлых интервалов вскрывается рядом скважин на глубинах более 100 м от дна.

Исключение из этого ряда составляют мерзлые образования, развитые на объекте «Диапиры», в пределах которого на дне выделяются многочисленные локальные поднятия. На сводах этих поднятий мерзлые грунты были вскрыты скважинами на глубине менее 0.5 м от дна, а мощность мерзлой толщи достигает здесь 100 м и более. Это связано с тем, что в пределах площади данного объекта мерзлые грунты, предположительно, выпучены к поверхности под действием аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в подмерзлотных мелких залежах приповерхностного газа [Бондарев и др., 2002]. Как на сводах поднятий, так и на участках между ними мерзлая толща в разрезе сплошная.

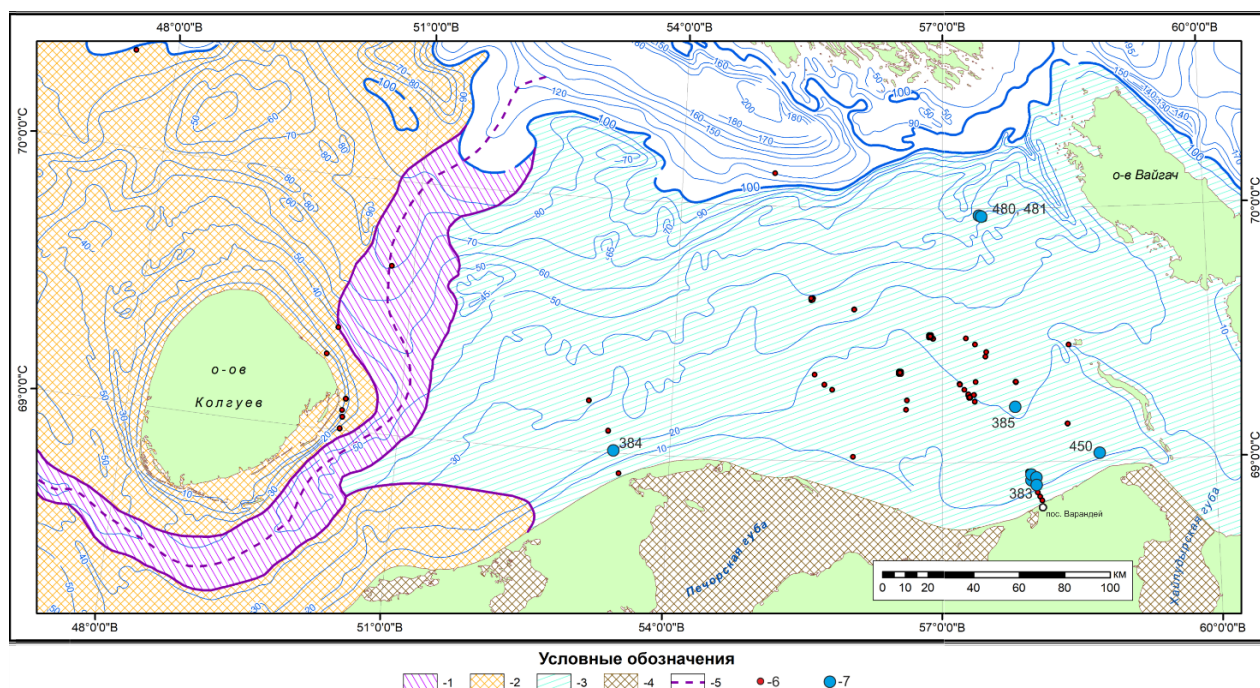


Рис. 1. Субаквальная криолитозона и местоположение скважин, вскрывших мерзлые грунты.

Обозначения: 1 – Восточно-Колгуевский талик, 2 – область осушения, подвергнувшаяся растеплению, 3 – область распространения мерзлых и охлажденных грунтов, 4 – современные талики, приуроченные к речным эстуариям, 5 – тальвег Восточно-Колгуевского желоба, 6 – опорные скважины, не вскрывшие мерзлые грунты, 7 – опорные скважины, вскрывшие мерзлые образования.

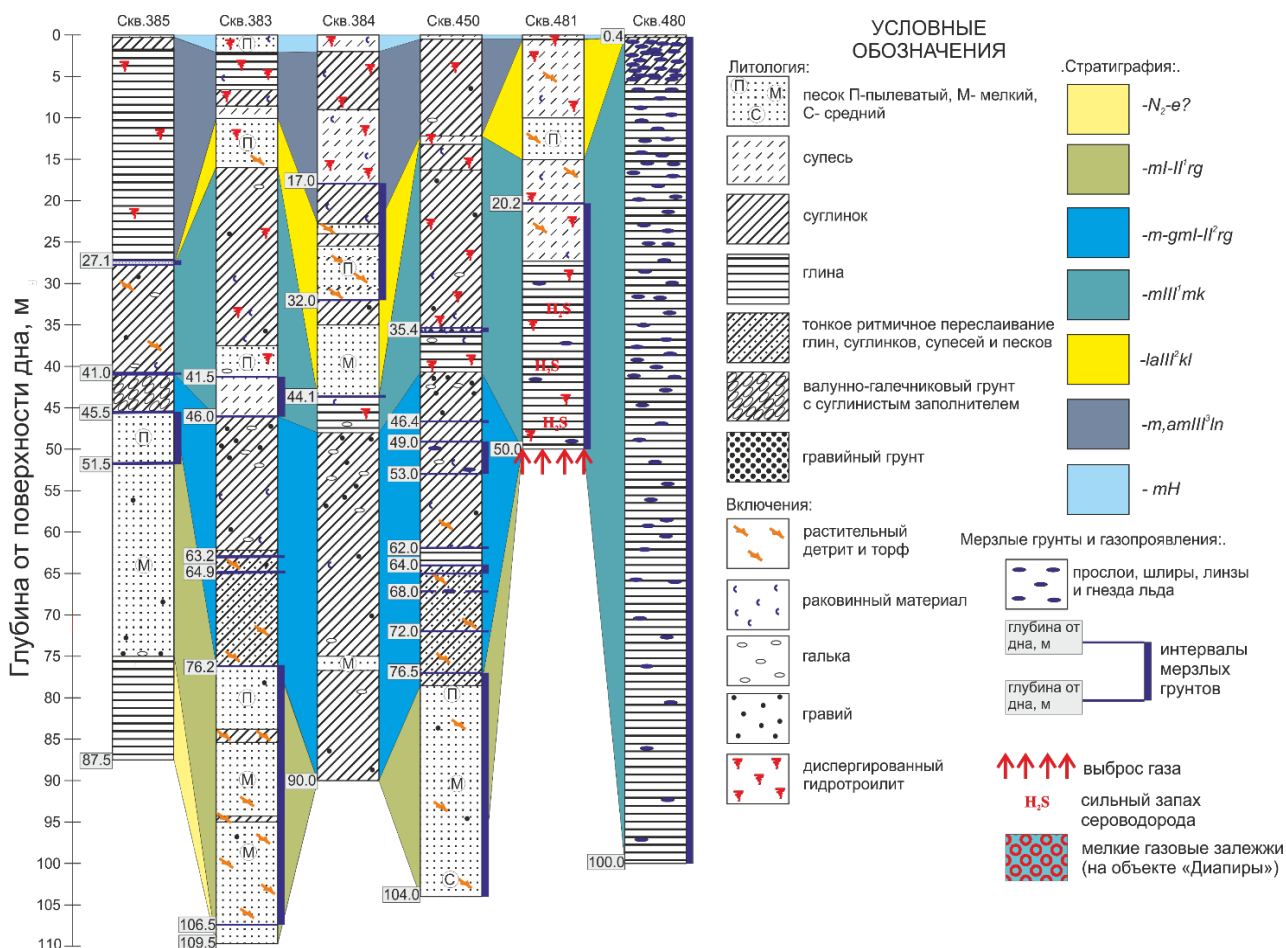


Рис. 2. Корреляция разрезов опорных скважин, вскрывших мерзлые грунты (местоположение скважин см. рис. 1)

Охлажденные грунты установлены в интервалах между поверхностью дна и кровлей первого от поверхности мерзлого слоя и в интервалах между мерзлыми слоями в разрезах скважин, а также на участках (таликах), где мерзлых грунты в кернах отсутствуют.

Мерзлые грунты представлены в основном пластичномерзлыми глинами и суглинками со слоистой криотекстурой, а также супесями и песками в основном мелкого и пылеватого состава с массивной криотекстурой. Ледяные шпильки часто наклонные и формируют, вероятно, крупносетчатую криотекстуру, фрагменты которой и наблюдаются в кернах. Текстурированный лед пресный прозрачный стекловатый, реже молочно-белый. На объекте «Диapiры» скважиной № 480 были вскрыты глины с атакситовой криотекстурой (содержание льда в верхних интервалах превышало 50%). Также в толщах пластичномерзлых и/или охлажденных глин, суглинков и супесей не содержащих видимых ледяных включений, часто встречаются тонкие текстурного уровня прослойки мерзлого песка с массивной криотекстурой.

Мерзлые грунты, вскрытые скважинами в районе акватории у побережья пос. Варандей (скважина № 383 и др.), в разрезе скважины №384, а также на площади Поморского месторождения (скважина № 385), представлены мелкими и пылеватыми песками, реже супесями с массивной криотекстурой. В разрезе скважины № 450 в составе мерзлых образований присутствуют пески с массивной криотекстурой и пластично мерзлые суглинки с линзовидно-слоистой криотекстурой, а также мерзлый гравийный грунт с песчаным заполнителем, имеющим массивную криотекстуру. На объекте «Диapiры» в составе мерзлых отложений вскрыты супеси и пески с массивной криотекстурой, а также глины со слоисто-сетчатой и атакситовой криотекстурами.

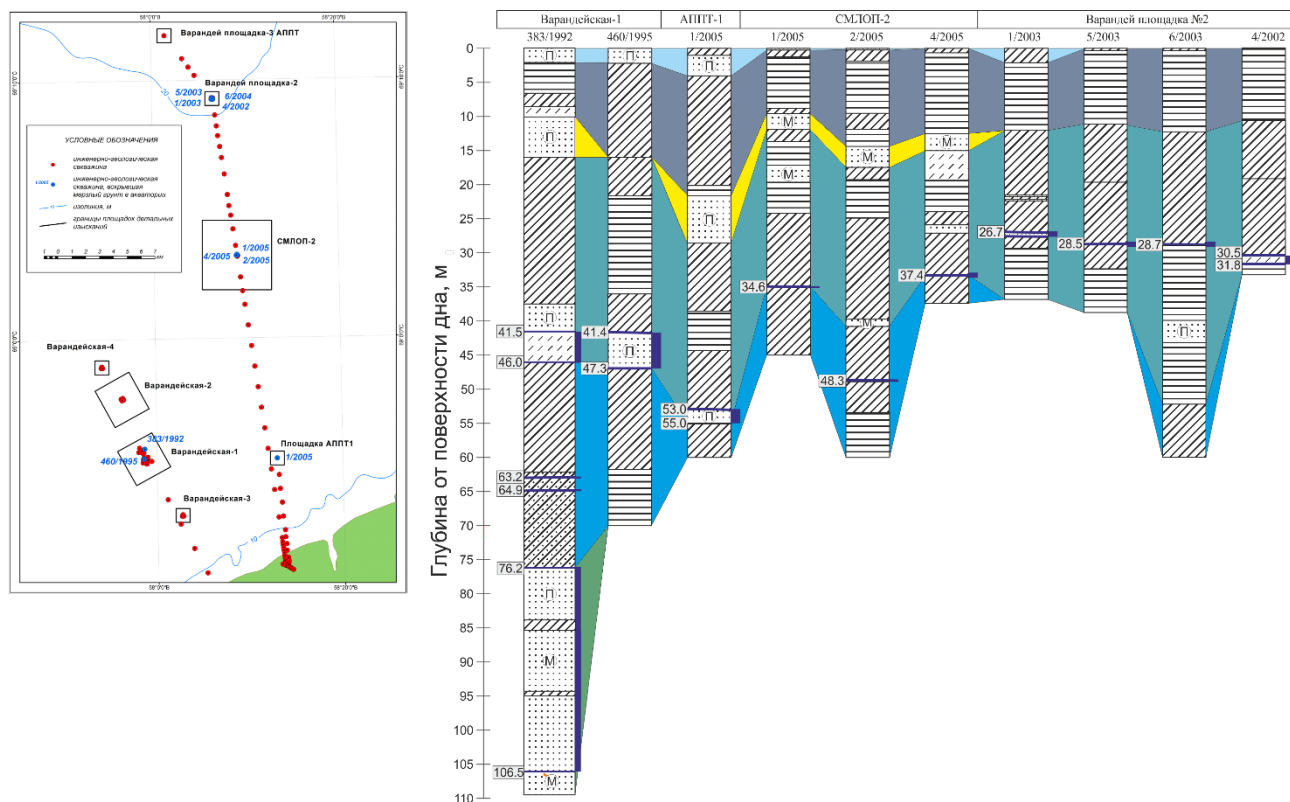


Рис. 3. Корреляция скважин, вскрывших мерзлые грунты в районе пос. Варандей.

Слева карта местоположения скважин (красные кружки - инженерно-геологические скважины в акватории и на суше, синие кружки – скважины в акватории, вскрывшие мерзлые грунты.

Справа – литологические колонки: Варандейская-1, Варандей площадка № 2, площадка АППТ-1 (автоматическая полупогружная турель)-1, СМЛОП-2 (стационарная морская ледостойкая платформа). Условные обозначения к колонкам скважин см. рис. 2.

Температура и засоленность. Значения температуры получены путем измерений в кернах скважин и методом термостатического зондирования (temperature cone penetration test – ТСРТ). Засоленность определялась лабораторными методами по пробам из кенового материала. Для верификации измеренных значений температуры применялись оценки температуры начала заморзания и/или таяния (T_{bf}), рассчитанные согласно п. Б.5 свода Правил (СП) 25.13330.2012 «СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» в зависимости от состава и засоленности.

Измерения температуры грунтов проведены в опорных скважинах, вскрывших мерзлые грунты №№ 481 и 482. Также разрозненные температурные измерения выполнены в районе пос. Варандей в скважинах, в кернах которых присутствовали мерзлые образования. Кроме того, в районе скважины № 210 на Приразломной площади и № 450 на площади Мединское-море выполнено ТСРТ и измерения температуры в кернах.

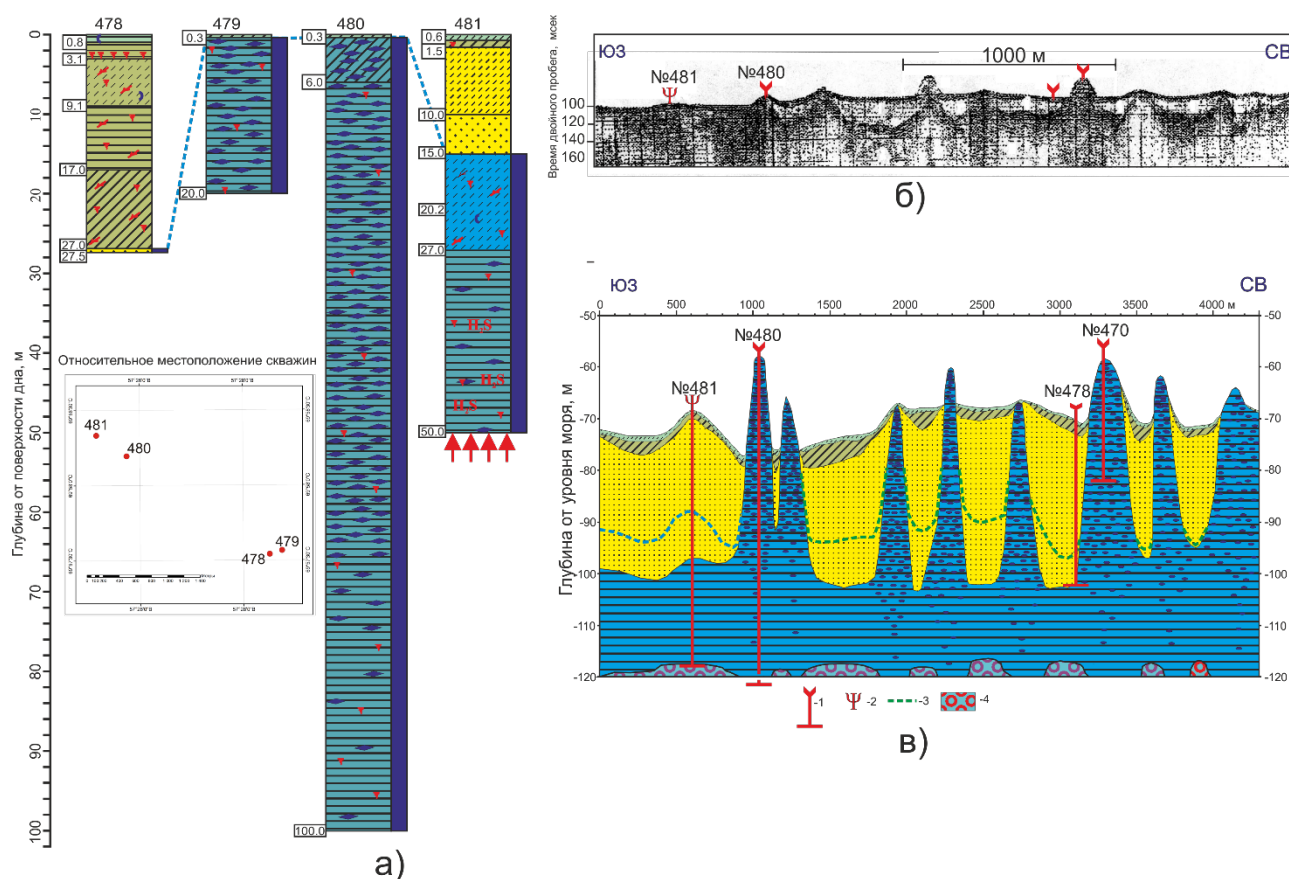


Рис. 4. Мерзлые грунты, вскрытые скважинами на объекте «Диапиры»: а) корреляция колонок скважин; б) временной разрез профиля сейсмоакустического профилирования, пересекающий местоположение скважин; в) интерпретация временного разреза. Условные обозначения на см. рис. 2

Наиболее полный ряд измерений температуры керна и ТСРТ был получен по скважине № 450 (Рис. 5). Здесь, помимо измерений температуры, также выполнены параллельные определения засоленности и удельного электрического сопротивления (УЭС) керна до глубины около 100 м от дна. В разрезе этой скважины температура мерзлых и охлажденных грунтов изменяются безградиентно в диапазоне от -1.12 до 0.00°C . Минимальная зафиксированная температура мерзлых грунтов составила -1.12°C (по данным ТСРТ), максимальная – около -0.20°C .

На графике УЭС в пропластках мерзлых грунтов наблюдаются резкие пиковые увеличения значений этого показателя. В талых образованиях величина данного показателя снижается до $100\text{ ом}\cdot\text{м}$ и ниже. Максимальные значения УЭС до $500 - 750\text{ ом}\cdot\text{м}$ и выше наблюдаются в мерзлых слоях глинисто-суглинистого состава, а также в мерзлом прослое крупнообломочного грунта в интервале $35.2 - 35.4\text{ м}$ от дна. В мерзлых песчано-супесчаных отложениях величина УЭС ниже и не превышает $250\text{ ом}\cdot\text{м}$ в верхних интервалах. В нижней части вскрытого интервала в толще мерзлых песков роговской свиты значения УЭС увеличиваются вниз по разрезу превышая указанную величину, что может быть связано с увеличением льдистости и огрублением гранулометрического состава, а также снижением засоленности (рис. 5).

Кроме того, в ряде интервалов, где видимые признаки наличия льда отсутствуют, отмечены повышенные значения УЭС. Можно предположить, что в этих интервалах развиты пластичномерзлые глинисто-суглинистые грунты, не содержащие в своем составе сегрегационного льда.

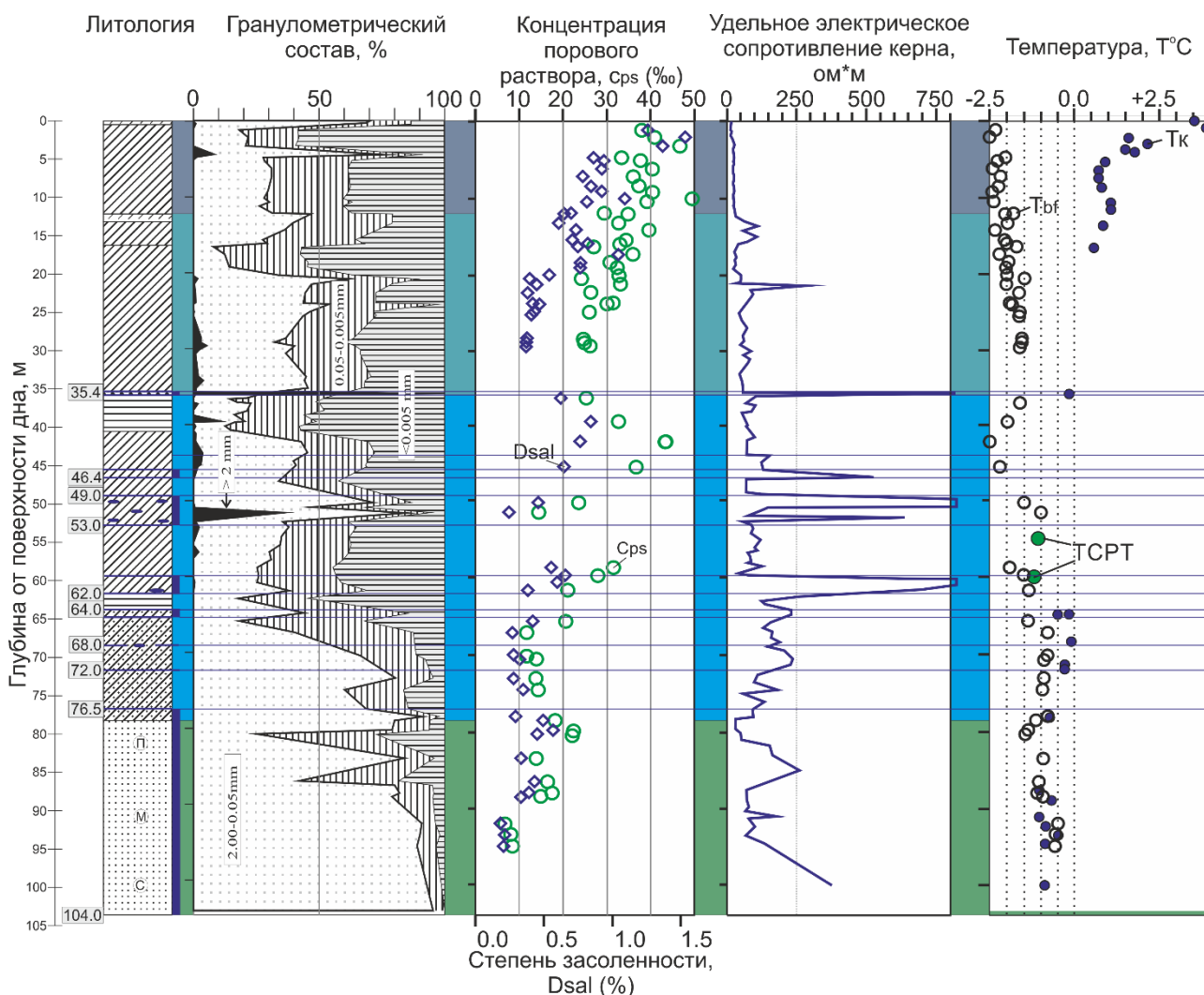


Рис. 5. Изменчивость температуры грунтов, электрического сопротивления керна, засоленности и гранулометрического состава по разрезу скважины № 450. Условные обозначения: $T_{бг}$ – температура начала замерзания, T_k – температура керна, TCPT – температура по данным TCPT. Остальные обозначения см. рис. 2.

В скважинах №№ 480 и 481 на объекте «Диапиры» также получены достаточно представительные выборки измерений температуры керна (рис. 6а). Однако, здесь определения засоленности грунта не проводились, что не позволило определить температуру начала замерзания и надежно верифицировать температурные данные. В скважине № 481, расположенной на своде одного из диапироподобных поднятий, температуры мерзлых грунтов, залегающих вблизи поверхности дна до глубины около 100 м составили от -1.5 до -0.8°C (см. рис. 4, 6а). Отмечается достаточно выраженный положительный градиент, составляющий около $0.006 - 0.007^{\circ}\text{C}/\text{м}$.

В скважине № 482, расположенной на участке между диапироподобными поднятиями, температура мерзлых грунтов, залегающих под слоем образований с положительной температурой (до глубины около 19 м от дна), находится в том же температурном диапазоне, что и в скважине № 481. В разрезе этой скважины температурный градиент не выражен.

В морской акватории, примыкающей к побережью в районе пос. Варандей, в ряде скважин были также проведены разрозненные измерения температуры керна и TCPT (Рис. 6б). Согласно данным этих измерений температура в интервале от поверхности дна до глубин 50-60 м в мерзлых грунтах изменяется от -1.2 до -0.4°C . Температура талых образований околонулевая. Вниз по разрезу значения температуры изменяются безградиентно.

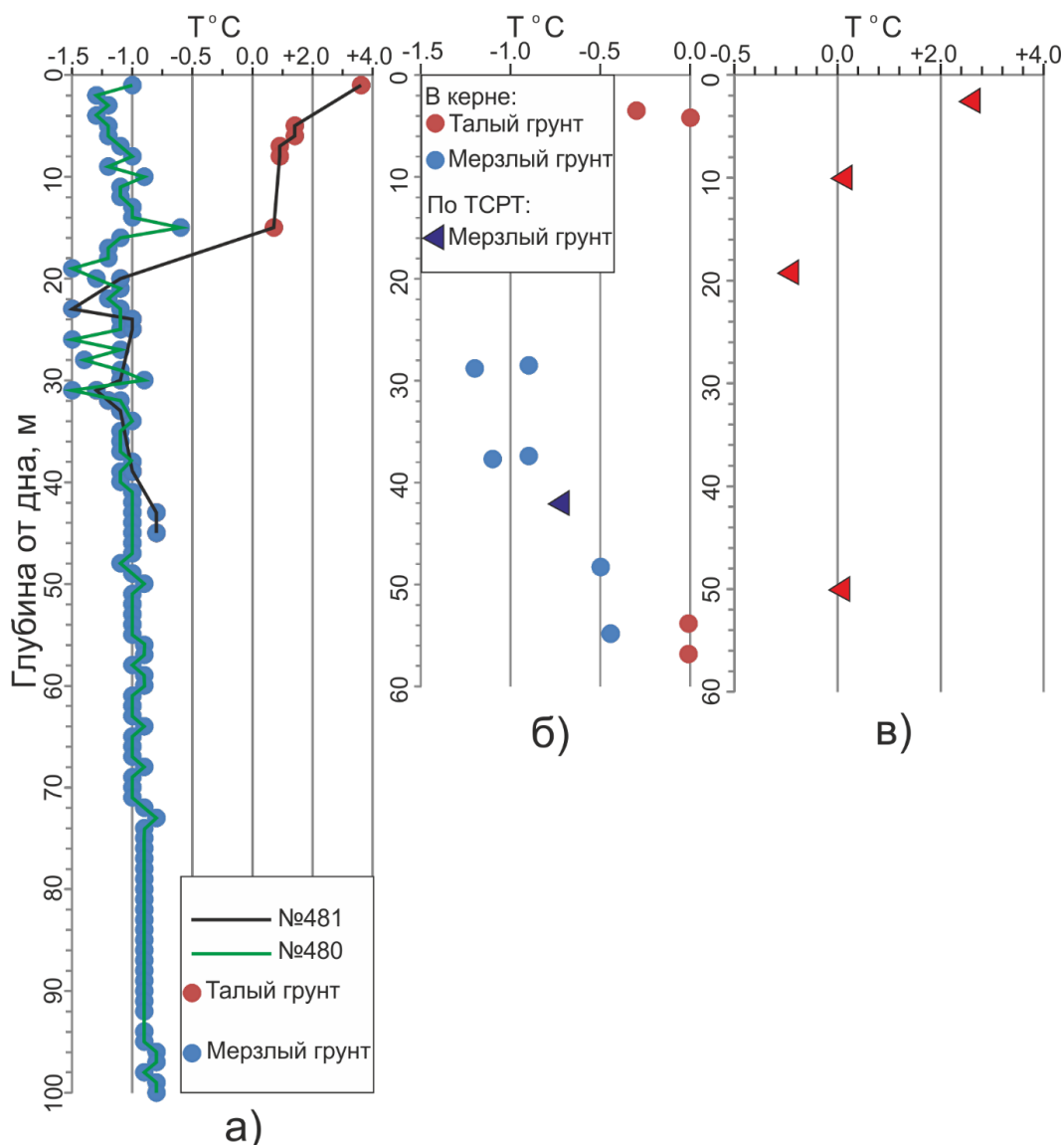


Рис. 6. Сводные графики значений температуры керна: а) по объекту «Диапиры», б) температуры в керне и по данным ТСРТ в акватории у пос. Варандей, в) температурных измерений ТСРТ в районе скважины № 210, Приразломное месторождение.

Засоленность в мерзлых грунтах здесь не определялась. Однако, ее значения были получены в коррелятных интервалах соседних скважин. Это позволило оценить температуру начала замерзания мерзлых слоев, которая составила от -0.90 до -0.15°C . Данные значения соответствуют диапазону температуры мерзлых грунтов, что подтверждает достоверность температурных измерений.

Измерения температуры охлажденных грунтов, развитых в границах одного из таликов, были проведены с помощью ТСРТ в районе скважины № 210 (Приразломное месторождение). Эта скважина глубиной 130.5 м от дна мерзлых образований не вскрыла. По данным проведенных измерений температура здесь резко понижается от поверхности дна и переходит в область отрицательных значений (-0.24°C) на глубине 19.2 м от дна (рис. 6в). Следующий замер, выполненный на глубине 50 м от дна, показал околонулевое значение.

В соответствии с ГОСТ 25100-2020 по значениям степени засоленности (D_{sal}) мерзлые грунты относятся в основном к незасоленным – слабозасоленным, талые к слабо – средnezасоленным. Концентрация солей в поровом растворе талых плейстоценовых образований составляет обычно 20-30 % и выше (до 50 % и более). В мерзлых отложениях значения этого показателя обычно ниже 20 % (рис. 7). В составе ионного

комплекса водорастворимых солей как мерзлых, так и талых (протаявших) отложений преобладают Cl^- и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$.

Обсуждение. Мерзлые и охлажденные грунты, установленные в описанных выше скважинах, формируют субаквальную криолитозону Печорского моря. Внешняя мористая граница этой области проходит по изобате 100 м (см. рис. 1), что приблизительно соответствует уровню последней позднеоплейстоценовой регрессии. С запада, северо-запада данная область ограничивается Восточно-Колгуевским таликом, который, вероятно, приурочен к древнему верхневалдайскому эстуарию, а также обширным мелководьем, в пределах которого донные грунты имеют положительную температуру (вследствие воздействия теплых течений). В современных эстуариях рек Печорской низменности, впадающих в море, также, вероятно, имеют место сквозные талики.

В ходе трансгрессии современного арктического бассейна она вызвала повышение температуры в верхних слоях осадочной толщи. В результате ранее сформированная мерзлая толща существенно протаяла (деградировала). К настоящему времени мерзлые льдистые грунты сохранились в виде локальных массивов, разделенные таликами (островной характер распространения мерзлоты). При деградации мерзлоты в ходе трансгрессии, по мере повышения температуры, вначале протаивали наименее льдистые и наиболее засоленные грунты. Наименее засоленные и наиболее льдистые образования протаивали в последнюю очередь. Предполагается, что в настоящее время грунты в локальных мерзлых массивах находятся в квазистационарном состоянии и испытывают медленное таяние сверху от поверхности дна под воздействием тепла морской воды и снизу под воздействием глубинного теплового потока [Куликов, Рокос, 2017; Рокос и др., 2009].

Согласно имеющимся представлениям [Angelopoulos et al., 2020; Osterkamp, 2001] температура реликтовых субаквальных мерзлых толщ имеет отрицательные значения, близкие к температуре фазового перехода. Изменение температуры по разрезам слоистых мерзлых образований носят безградиентный характер. Минимальные значения температуры приурочены к средним частям промерзавших при регрессии интервалов глубин, по направлению к кровле и подошве температура увеличивается.

В рассматриваемом регионе измеренные значения температуры и характер их распределения по разрезам скважин вполне соответствует этим представлениям. Действительно, представленные данные показывают, что температура мерзлых грунтов относительно высокая и весьма близка по своим значениям к температуре начала замерзания. Разница между этими показателями составляет в основном 0.1 – 0.2°C и меньше. С учетом точности или погрешности измерений такие данные позволяют рассматривать полученные значения температуры как достаточно близкие к *in situ*.

Температурный градиент во всех скважинах (за исключением скв. № 480), вскрывших мерзлые грунты, не выражен. В интервале от поверхности дна, где температура соответствует температуре морской придонной воды, до кровли первого от поверхности слоя мерзлых грунтов наблюдается снижение значений с относительно высоким градиентом. На некоторой глубине эти значения переходят в отрицательную область.

Ниже кровли первого от поверхности слоя мерзлых образований температуры, сохраняя свои отрицательные значения (в т.ч. и в протаявших интервалах между слоями мерзлых льдистых грунтов), также изменяется безградиентно.

Очевидно, что такой характер изменения значений температуры обусловлен протаиванием мерзлых толщ от поверхности дна под тепловым воздействием морской водной толщи. Среднегодовая температура придонной воды в районах пробуренных скважин, хотя и является относительно низкой (вплоть до отрицательной), но, тем не менее, превышает значения фазового перехода.

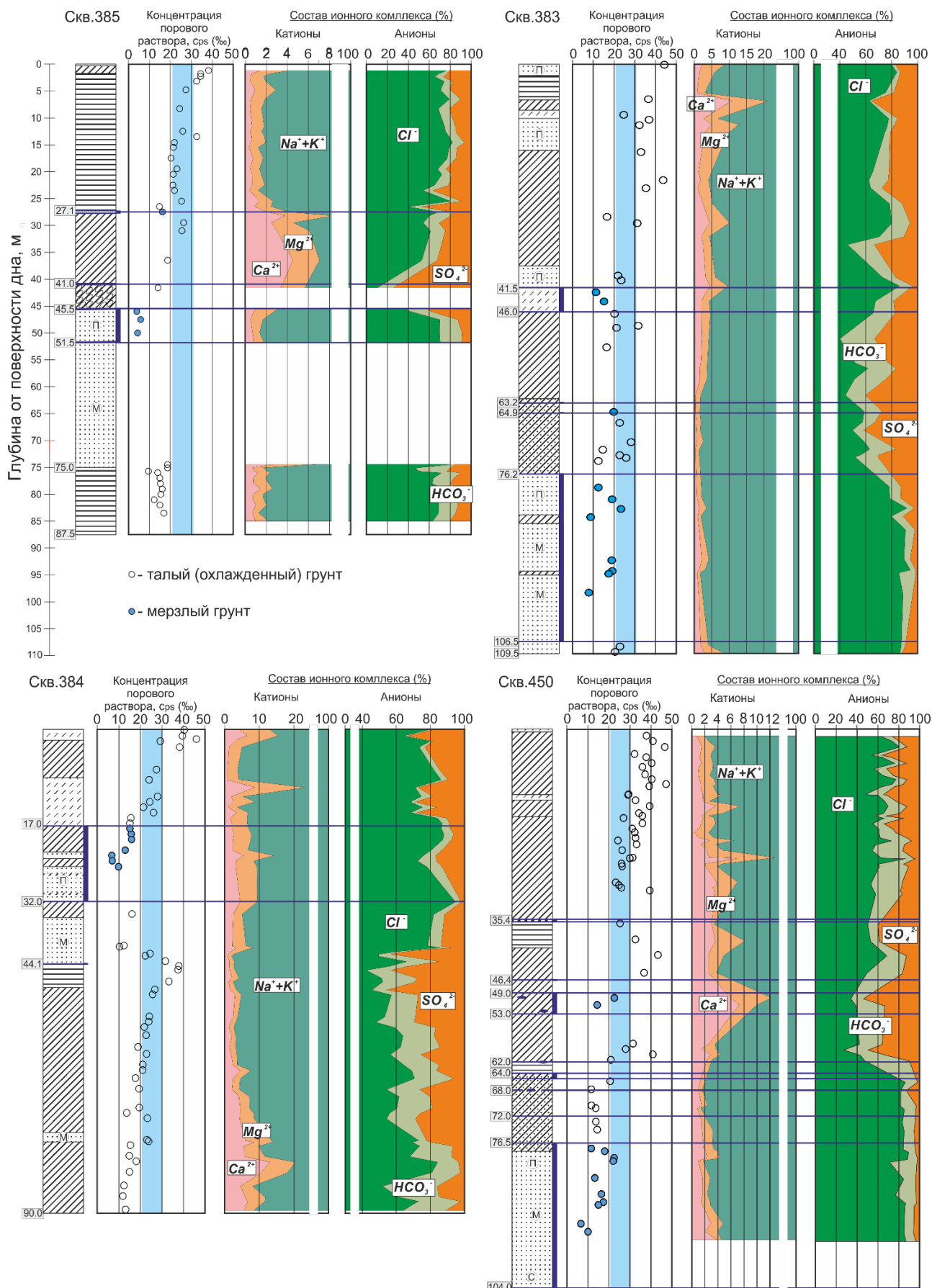


Рис. 7. Засоленность (D_{sal}), концентрация порового раствора (c_{ps}) и ионный состав комплекса водорастворимых солей в разрезах опорных скважин. Условные обозначения см. рис. 2.

Повышение температуры в нижних частях мерзлых толщ, обусловленное протаиванием снизу в результате воздействия глубинного теплового потока, по имеющимся данным не проявлено. Вероятно, это связано как с общей недостаточностью температурных измерений, так и с тем, что интервалы, испытавшие промерзание, не были вскрыты на полную мощность.

Наличие относительно небольшого положительного градиента в скважине № 480, расположенной на своде одного из локальных диапироподобных поднятий, может быть обусловлено специфическими процессами, вызвавшими образование данной формы [Бондарев и др., 2002].

Данные о температуре грунтов в таликах, разделяющих массивы реликтовых мерзлых грунтов, весьма редки и отрывочны. Результаты измерений температуры, полученные ТСРТ в скважине № 210 Приразломной площади, расположенной в пределах одного из таких таликов, показывают в основном отрицательные значения, близкие к 0°C. Минимальная измеренная температура достигает -0.24°C.

Как и в разрезах скважин, вскрывших мерзлые образования, в зонах таликов в интервалах между поверхностью дна, где температура положительная и соответствует температуре придонной морской воды, и некоторой глубиной, на которой температура приобретает отрицательные значения, изменения происходят с достаточно высоким градиентом. Ниже глубины, где температура становится отрицательной градиент не выражен.

В целом, авторы полагают, что протаявшие отложения таликов по-видимому сохранили свою низкую температуру в большей части интервала осадочной толщи, испытавшего промерзание в ходе последней верхневалдайской регрессии.

Также можно предположить, что в разрезах как мерзлых, так и протаявших талых грунтах, глубина, на которой температура переходит в отрицательную область и далее изменяется со слабовыраженным градиентом или безградиентно, соответствует отметке подошвы слоя сезонных колебаний температуры.

На графиках распределения засоленности по разрезам скважин наблюдается снижение значений показателя засоленности грунта (D_{sal}) и концентрации порового раствора (c_{ps}) в плейстоценовых отложениях. В некоторых интервалах этот тренд осложнен присутствием мерзлых грунтов и пропластков, резко отличающихся по литологии.

Предположительно, снижение засоленности вниз по разрезам плейстоценовых отложений обусловлено миграцией солей из глубины к поверхности в ходе промерзания. В результате этого верхние интервалы промерзшей толщи испытали интенсивное засоление. При последней трансгрессии они протаяли, но сохранили свою высокую засоленность, которая соответствует и/или превышает соленость вод современного Печорского моря (20 – 30 ‰).

Преобладание Cl^- и $Na^+ + K^+$ составе ионного комплекса водорастворимых солей связано, вероятно, с преимущественно морским происхождением плейстоценовых отложений [Данилов, 1978].

Заключение.

1. Температура мерзлых грунтов описываемого региона изменяется от -1.5 до 0.0°C и весьма близка к значениям фазового перехода. В протаявших грунтах начиная с определенной глубины от дна температура также имеет отрицательные (до -0.24°C) и/или околонулевые значения и также близка к точке фазового перехода. Изменение температуры в разрезах, содержащих слои мерзлых грунтов и разделяющие их интервалы охлажденных образований, носит безградиентный характер.

2. В разрезах протаявших и мерзлых грунтов, в интервалах залегающих между поверхностью дна и кровлей первого от поверхности мерзлого слоя, температура интенсивно снижается и на определенной глубине переходит в отрицательную область. В интервалах как талых, так и мерзлых образований ниже этой глубины градиент изменения

температуры относительно небольшой. Такой характер изменения температуры обусловлен теплообменом с придонным горизонтом морской водной толщи, температура которого, являясь довольно низкой (иногда отрицательной), но превышает температуру фазового перехода.

3. В верхних частях разрезов таликовых зон температура также резко понижается от поверхности дна до некоторой глубины, на которой она становится отрицательной или околонулевой. Ниже этой глубины изменения температуры также носят беградиентный характер. Предполагается, данная глубина соответствует подошве слоя сезонных колебаний температуры. Очевидно, что глубже слоя сезонных колебаний протаявшие грунты в значительной мере сохранили свою низкую температуру.

4. В разрезах скважин, как вскрывших мерзлые грунты, так и пробуренных в таликовых зонах, глубина на которой температура переходит в область отрицательных значений, вероятно, соответствует отметке подошвы слоя сезонных колебаний температуры.

5. Изменчивость показателей засоленности по разрезам толщ мерзлых и охлажденных грунтов вероятно обусловлен миграцией солей при промерзании, произошедшем в течение последней регрессии. В результате этой миграции верхние интервалы осадочной толщи оказались довольно сильно засолены. При последовавшей за этим трансгрессии современного арктического бассейна данные интервалы протаяли, но сохранили при этом свою высокую засоленность, которая часто значительно превышает соленость вод современного Печорского моря.

ЛИТЕРАТУРА

Бондарев В.Н., Рокос С.И., Костин Д.А., Длугач А.Г., Полякова Н.И. Подмерзлотные скопления газа в верхней части осадочного чехла Печорского моря // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 7. С. 587-598.

Данилов И.Д. Полярный литогенез. 1978. М.: Недра. 238 с.

Куликов С.Н., Рокос С.И. Выделение массивов многолетнемерзлых пород на временных сейсмоакустических разрезах мелководных районов Печорского и Карского морей // Инженерные изыскания. 2017. № 3. С. 34-43.

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

Angelopoulos M., Overduin P.P., Frederieke M., et al. Recent advances in the study of Arctic submarine permafrost // Permafrost and Periglacial Processes. 2020. Vol. 31. Is. 3. P. 341-457. doi:10.1002/ppp.2061.

Osterkamp T.E. Subsea Permafrost. Chapter in, Encyclopedia of Ocean Sciences, J.H. Steele, S.A. Thorpe, and K.K. Turekian, Editors. Academic Press. 2001. P. 2902-2912. doi:10.1016/B978-012374473-9.00008-4

TEMPERATURE AND SALINITY OF SOILS IN THE SUBMARINE PERMAFROST ZONE OF THE PECHORA SEA

Rokos S.I., Kulikov S.N.

JSC Arctic Marine Engineering-Geological Expeditions, Murmansk, Russia

The submarine relict permafrost zone, developed within the region under consideration, includes frozen ice-bearing and cooled ice-free soils with negative temperatures. Frozen ice-bearing soils develop as localized massifs, separated by extensive taliks containing thawed, cooled ice-free formations. It has been shown that the temperature of frozen ice-bearing soils within the depth range from the seafloor to 100 m varies without gradient from -1.5 to -0.0°C and is very close to the freezing and/or thawing temperature. The salinization both frozen and cooled soils is primarily marine chloride. In terms of salinity, the frozen ice-bearing formations are primarily classified as

non-saline or slightly saline, with salt concentrations in the pore solution typically not exceeding 20‰. Thawed cooled soils in taliks and layers overlying frozen sediments are primarily saline, with salt concentrations in the pore solution varying from 20-30 to 40-50‰ or more. The temperature of these formations varies from -0.24°C to near-zero values. It is anticipated that changes in salinity and the composition of the ionic complex of water-soluble salts in thawed and frozen soils are primarily due to their migration during freezing.

Keywords: Pechora Sea, submarine permafrost, permafrost soils, cooled ice-free soils, soil temperature, soil salinity, Quaternary sediments

REFERENCES:

Bondarev V.N., Rokos S.I., Kostin D.A., Dlugach A.G., Polyakova N.I. Underpermafrost accumulations of gas in the upper part of the sedimentary cover of the Pechora Sea // *Russ. Geol. Geophys.* 2002. Vol. 43. Is. 7. P. 587–598. (in Russian).

Danilov I.D. Polar lithogenesis. 1978. Moscow: Nedra. 238 p.p. (in Russian).

Kulikov S.N., Rokos S.I. Identification of Massive Permafrost Deposits on Temporary Seismoacoustic Profiles in Shallow-Water Areas of the Pechora and Kara Seas // *Inshenernye Izyskaniya [Geotechnical Surveys]*. 2017. No. 3. P. 34-43. (in Russian).

Rokos S.I., Dlugach A.G., A. Loktev A. et al. Permafrost deposits of the Pechora and Kara Sea shelf: genesis, composition, and occurrence // *Inshenernye Izyskaniya [Geotechnical Surveys]*. 2009. No.10. P. 38–41. (in Russian).

Angelopoulos M., Overduin P.P., Frederieke M., et al. Recent advances in the study of Arctic submarine permafrost // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2020. Vol. 31. Is. 3. P. 341-457. doi:10.1002/ppp.2061.

Osterkamp T.E. Subsea Permafrost. Chapter in, *Encyclopedia of Ocean Sciences*, J.H. Steele, S.A. Thorpe, and K.K. Turekian, Editors. Academic Press. 2001. P. 2902-2912. doi:10.1016/B978-012374473-9.00008-4