

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

УДК 551.341: 551.35

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-5(17-26)

СУБАКВАЛЬНЫЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ПОРОДЫ
ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБ КАРСКОГО МОРЯ

С.И. Рокос, Д.А. Костин, С.Н. Куликов

ОАО «Арктические морские инженерно-геологические экспедиции» (АМИГЭ),
183025, Мурманск, ул. Карла Маркса, 19, Россия; office@amige.ru

В 1995–2013 гг. в акватории Обской и Тазовской губ был пробурен ряд инженерно-геологических скважин глубиной от 10–20 до 50–70 м ниже дна. Многолетнемерзлые породы вскрыты четырьмя скважинами. Эти образования существенно различаются по льдистости, засоленности и температуре. Скважинами № 1 и 2 в северной части Обской губы вскрыты низкотемпературные (минимальные значения $-4.1...-4.8$ °С), в основном сильнозасоленные образования. Включения сегрегационного льда в этих отложениях отсутствуют. Расположенная там же скважина № 3 вскрыла мерзлые грунты с относительно высокой температурой ($-0.9...-1.2$ °С), слабой–средней засоленностью и обильными включениями тектурного льда. Многолетнемерзлые грунты, вскрытые скважиной в порту Ямбург, характеризуются неоднородным составом, различной засоленностью и льдистостью по сравнению с грунтами, вскрытыми скважинами № 1 и 2, и входят в состав прибрежного относительно молодого голоценового криореликта. Мерзлые образования в скважине № 3 отнесены к древнему сартанскому островному криореликту. Мерзлые отложения, установленные в порту Ямбург, оказались под водой вследствие работ по углублению и расширению акватории порта. При этом площадь акватории Обской и Тазовской губ представляет в основном сквозной талик.

Карское море, Обская губа, Тазовская губа, многолетнемерзлые породы, грунты, засоленность, четвертичные отложения

SUBSEA PERMAFROST IN THE OB AND TAZ BAYS, THE KARA SEA

S.I. Rokos, D.A. Kostin, S.N. Kulikov

Arctic Marine Engineering-Geological Expeditions (AMIGE),
25, Karla Marksa str., Murmansk, 183025, Russia; office@amige.ru

During the 1995–2013 geotechnical drilling in the Ob Bay and Taz Bay offshore areas (depth interval: from 10–20 m to 50–70 m below seabed) permafrost was exposed in four wells. The identified permafrost strata varied considerably in ice content, salinity and temperature. Thus, low-temperature ($-4.1...-4.8$ °C as minimum), generally highly saline sediments containing no segregated ice lenses were reported from wells No. 1 and 2 in the northern offshore part of the Ob Bay. Whereas well No. 3 which is located nearby exposed frozen ground with relatively high temperature ($-0.9...-1.2$ °C), having low to medium salinity, and rich in ice inclusions. The permafrost ground exposed by a single borehole drilled in the port of Yamburg are varied in their composition, ice content and salinity. These are ranked as Holocene coastal cryorelics (i.e. relatively young). Formations exposed by well No. 3 are referred to the Sartan island-type relic permafrost (rather ancient). Besides, subsea permafrost strata established in the port of Yamburg are found to have submerged as a results of the port water area deepening/widening works. Most of the Ob and Taz Bays offshore area was seen to be an extensive open talik.

Kara Sea, Ob Bay, Taz Bay, permafrost, ground, salinity, Quaternary deposits

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы формирования и эволюции многолетнемерзлых пород (ММП) на шельфе арктических морей рассмотрены в работах [Арэ, 1976; Данилов, 1978; Антипина и др., 1979; Неизвестнов, 1981; Жигарев и др., 1982; Соловьев, 1983; Шполянская, 2015]. В открытой акватории Карского моря многолетнемерзлые отложения гипотетически выделены по данным сейсмоакустического профилирования [Рекант, Васильев, 2011; Васильев и др.,

2016], а также вскрыты рядом инженерно-геологических скважин [Рокос и др., 2009].

При этом геокриологические условия Обской и Тазовской губ остаются неясными. С одной стороны, данный район, очевидно, испытал глубокое промерзание при сартанской регрессии. С другой стороны, данная акватория находится под воздействием теплого стока впадающих рек (Обь, Таз, Пур и др.). Теплый речной сток несомненно

вызывает интенсивное растепление и деградацию реликтовых ММП.

В связи с работами по освоению месторождений углеводородов, которые в настоящее время ведутся в Обской и Тазовской губах, требуются уточненные данные о геокриологических условиях рассматриваемой акватории. Исходя из этого основной целью работы стало определение условий формирования, развития и распространения субаквальных ММП данного региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование опирается на материалы инженерно-геологического бурения, выполненного в ходе изысканий, проведенных ОАО «АМИГЭ» в 1995–2013 гг. для объектов морской нефтегазовой отрасли. Всего в акватории Обской и Тазовской губ было пробурено около 150 скважин глубиной от 10–20 до 50–70 м от дна. Скважины распределены по акватории неравномерно и приурочены к площадям месторождений углеводородов, а также проектируемых объектов нефтегазовой инфраструктуры (морских трубопроводов, отгрузочных терминалов и т. п.) (рис. 1).

Бурение производилось с борта специализированного научно-исследовательского судна «Кимберлит» с помощью установки УРБ-ЗА-3. Для отбора керн в мерзлых грунтах применялся двойной колонковый керноотборник с внутренним диаметром 127–142 мм и длиной 4 м, диаметр буровой колонны составлял 132–151 мм. Бурение осуществлялось с промывкой забортной водой температурой до 4–6 °С.

Определения физико-механических свойств мерзлых и талых грунтов выполнено лабораторными методами в соответствии с действующими в Российской Федерации государственными стандартами. Наиболее важными показателями в контексте данной работы являются засоленность и температура грунта. В основном именно эти показатели отражают и определяют условия формирования и деградации ММП.

Засоленность и состав ионного комплекса легкорастворимых солей определялись по [ГОСТ 26428-85, 1985] и [ГОСТ 26423-85, 1985]. Температуры мерзлых и талых грунтов в Обской и Тазовской губах измерялись в кернах скважин электронными термометрами-щупами ЛТИ-М-У2-ПО (ООО «АналитТеплоКонтроль»). Измерения выполнялись сразу после подъема керноприемника на палубу в забойной части до извлечения керна из пробоотборника. В скв. № 1 температуры измерялись в период 29–30.08.2005 г., в скв. № 2 – 31.08–01.09.2005 г., в скв. № 3 – с 30.09–03.10.2010 г., в скважине, пробуренной в порту Ямбург – 23–24.09.2002 г.

Очевидно, что измеренная температура керна выше, чем температура грунтов в условиях естественного залегания. Это обусловлено разогревом керна при бурении. Мы предполагаем, что в мерзлых и охлажденных грунтах разница между температурами *in situ* и измеренной в керне не превышает 0.3 °С. Температура начала замерзания определялась в соответствии с [СП-25-13330-2012, 2011].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБ

Верхняя часть разреза в пределах рассматриваемой акватории сложена отложениями неоплейстоцена (рис. 2). Согласно [Унифицированная... схема, 2000; Государственная... карта..., 2015], в составе неоплейстоценовой толщи выделен ряд стратиграфогенетических комплексов.

В основании изученного интервала осадочно-го разреза развиты морские ниже-среднеоплейстоценовые образования лаборовской серии (mI–IIIb), перекрытые казанцевскими морскими преимущественно песчаными отложениями (mIII¹kz). Выше залегают комплексы глинистых аллювиально-морских каргинских отложений (amIII³kr), аллювиальных песчаных образований ермаковского (aIII²er) и сартанского (aIII⁴sr) горизонтов. Венчается разрез толщей аллювиально-морских осадков голоцена (amH), в составе которой выделяется два подкомплекса – нижний (amH¹) и верхний (amH²).

Мерзлые грунты были установлены в кернах четырех инженерно-геологических скважин. Три из них расположены в северной части Обской губы, одна в акватории порта Ямбург (см. рис. 1). Координаты: скважина в порту Ямбург – 67°54' с.ш., 74°50' в.д.; скв. № 1 – 72°45' с.ш., 72°43' в.д.; скв. № 2 – 72°46' с.ш., 72°42' в.д.; скв. № 3 – 72°52' с.ш., 72°48' в.д.

Скважина, пробуренная в акватории порта Ямбург глубиной до 30 м по грунту и расположенная на удалении 40 м от берега при глубине моря около 8 м, вскрыла ММП на глубине около 0.5 м от дна. Мерзлый разрез представлен нижнеголоценовыми, сартанскими, каргинскими и ермаковскими отложениями. Он имеет довольно пестрый состав и неоднороден по свойствам. Среди мерзлых образований встречены пластично-мерзлые глины, а также твердомерзлые пески и суглинки.

Самый верхний слой разреза ММП представлен нижнеголоценовыми пластично-мерзлыми глинами с горизонтальными шпирями льда толщиной до 1 см, а также ледяными гнездами и линзами. Залегающие ниже сартанские и ермаковские пески, а также каргинские суглинки характеризуются массивной криотекстурой, отмечаются наклонные ледяные шпирь. В ермаковских песках

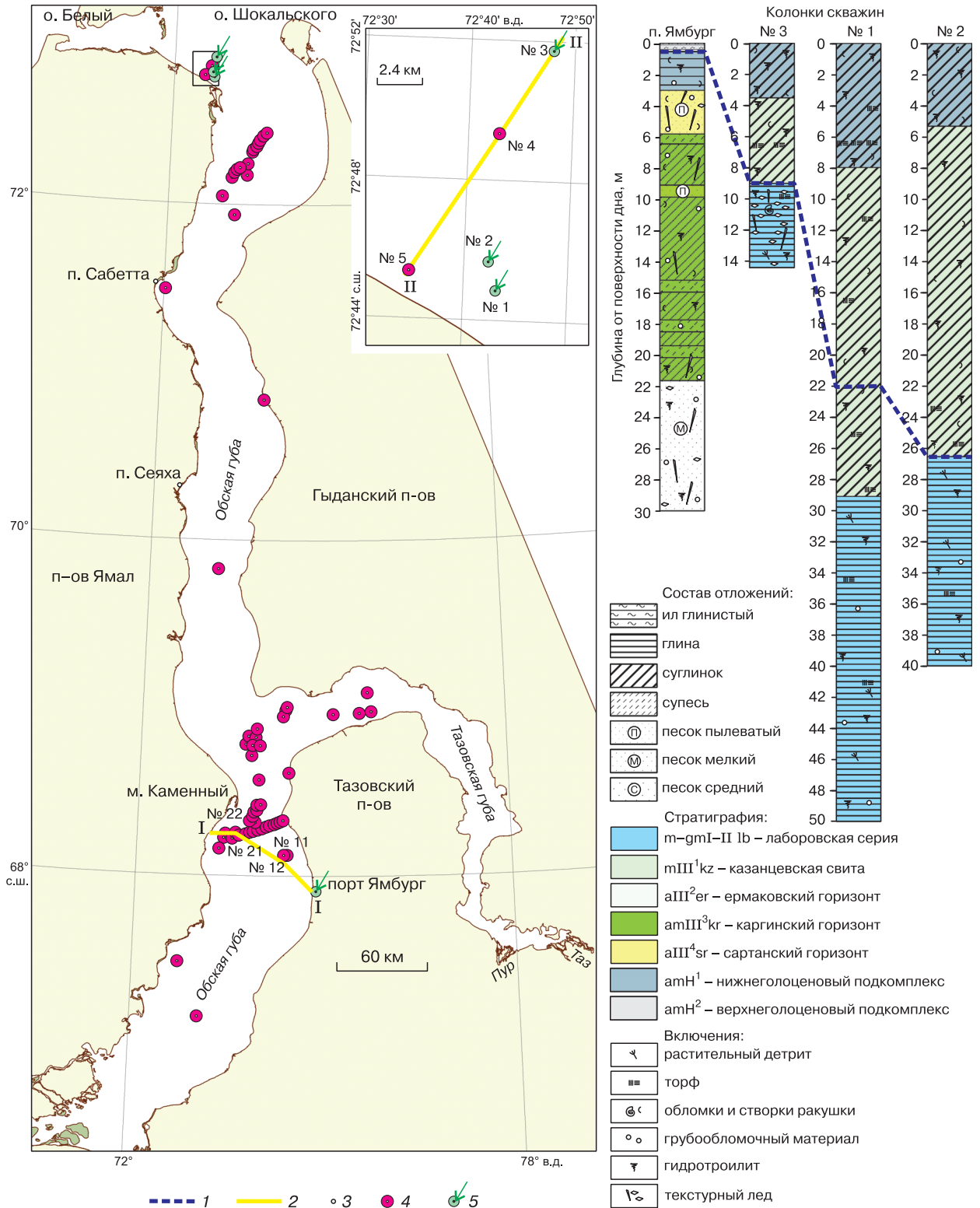


Рис. 1. Местоположение инженерно-геологических скважин в акватории Обской и Тазовской губ и колонки скважин, вскрывших многолетнемерзлые породы.

1 – положение кровли ММП; 2 – линии инженерно-геологических разрезов; 3 – населенные пункты; 4 – инженерно-геологические скважины (кусты скважин); 5 – инженерно-геологические скважины, вскрывшие многолетнемерзлые грунты. Стратиграфическое расчленение разрезов скважин выполнено в соответствии с [Унифицированная... схема, 2000; Государственная... карта..., 2015].

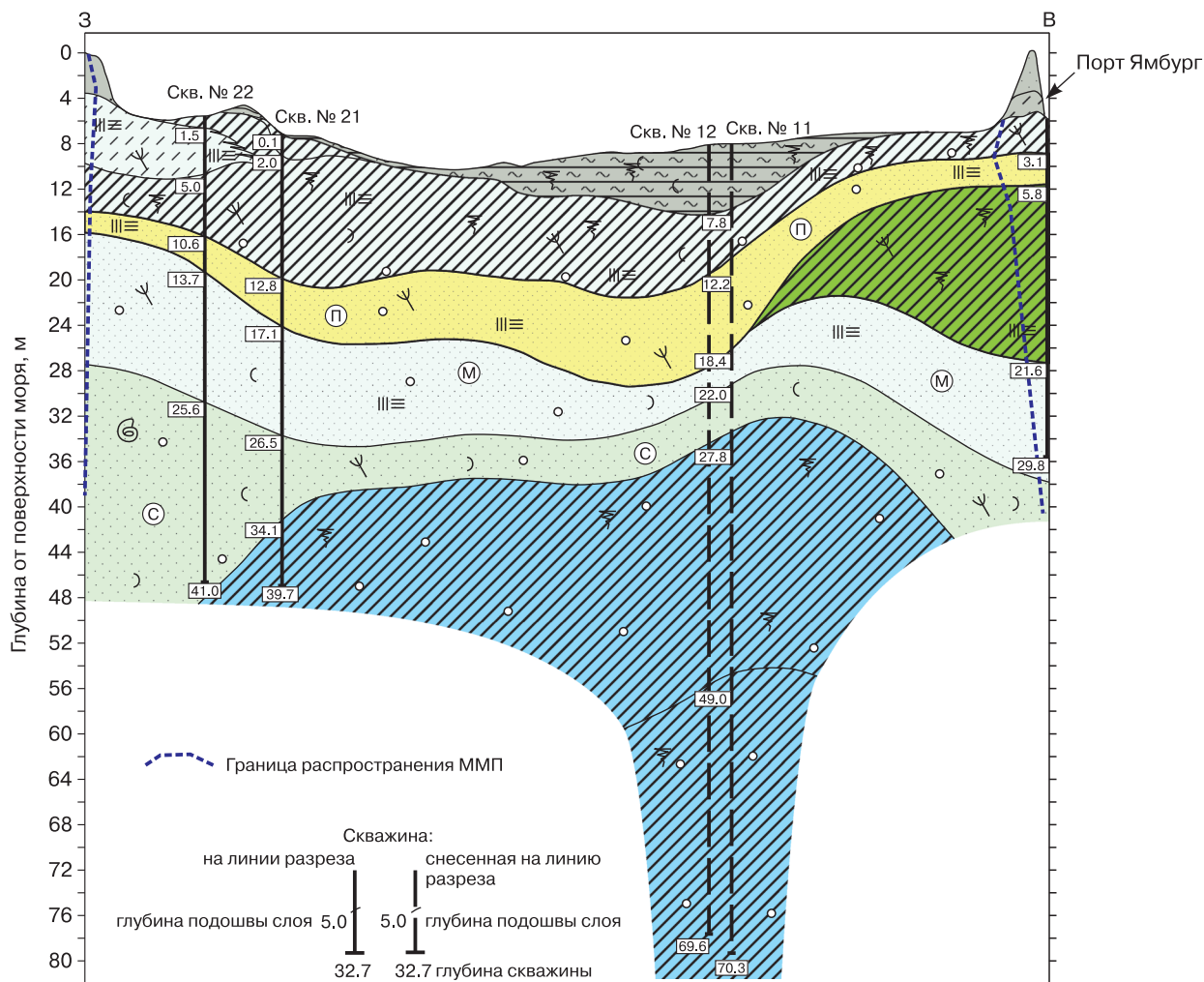


Рис. 2. Строение верхней части осадочного разреза Обской губы по линии I-I на инженерно-геологическом разрезе-развертке.

Местоположение см. на рис. 1. Усл. обозн. см. рис. 1.

также наблюдаются субгоризонтальные линзы и гнезда сегрегационного льда.

Скважины № 1 и 2, расположенные в северной части Обской губы у побережья п-ова Ямал, имеют глубину 50 и 40 м от поверхности дна соответственно. Скважина № 1 расположена на удалении 2.7 км от берега, скв. № 2 на удалении 3.8 км (см. рис. 1). Эти скважины вскрыли мерзлые образования на отметках около -22 и -26 м от дна при глубине моря около 10–11 м. Многолетнемерзлые грунты в кернах этих скважин представлены пластично-мерзлыми тяжелыми слоистыми суглинками казанцевской свиты и твердомерзлыми легкими глинами лаборовской серии.

Кровля мерзлой толщи здесь не выражена, контакт с вышележащими охлажденными грунтами весьма нечеткий. Криотекстура глин и суглинков массивная, сегрегационный лед отсутствует.

Характерны тонкие слойки твердомерзлого песка, включения раковинного материала, оторфованные линзы и прослои, древесные остатки, линзы и гнезда, насыщенные черным гидротроилитом.

Скважина № 3 глубиной 14.5 м от дна, расположенная в северной части Обской губы на расстоянии 15.3 км от берега, вскрыла пластично-мерзлые легкие глины лаборовской серии на отметке -9 м от дна при глубине моря около 20 м.

Многолетнемерзлые образования, вскрытые скв. № 3, формируют локальный массив, который прослеживается на временных разрезах сейсмоакустических профилей, пересекающих участок, где пробурена скважина. Здесь отмечают многочисленные ледяные включения. В верхней части мерзлой толщи выделяются субгоризонтальные ледяные прослои мощностью около 20 см. Глубже преобладают мелкие ледяные линзы, гнезда и на-

клонные шпильки, а также субвертикальные прожилки льда.

Мощность мерзлых толщ как в порту Ямбург, так и в северной части Обской губы осталась неустановленной. Очевидно, подошва ММП залегает здесь на отметках, превышающих достигнутую глубину бурения.

ЗАСОЛЕННОСТЬ ГРУНТОВ

В соответствии с [ГОСТ 25100-2011, 2018] мерзлые грунты рассматриваемой акватории изменяются от незасоленных до сильнозасоленных (степень засоленности $D_{sal} = 0.1-1.5\%$). Талые об-

разования характеризуются в основном средней-сильной засоленностью.

В разрезе скважины, пробуренной в порту Ямбург, верхнеэоплейстоценовые мерзлые грунты имеют преимущественно континентальный тип засоления, за исключением самого верхнего слоя древнеголоценовых глин с морским типом засоления. В составе ионного комплекса легкорастворимых солей преобладают анионы SO_4^{2-} (более 50%). Содержание ионов хлора не превышает 25% (рис. 3).

В северной части Обской губы в районе скважин № 1-3 мерзлые и талые грунты имеют исклю-

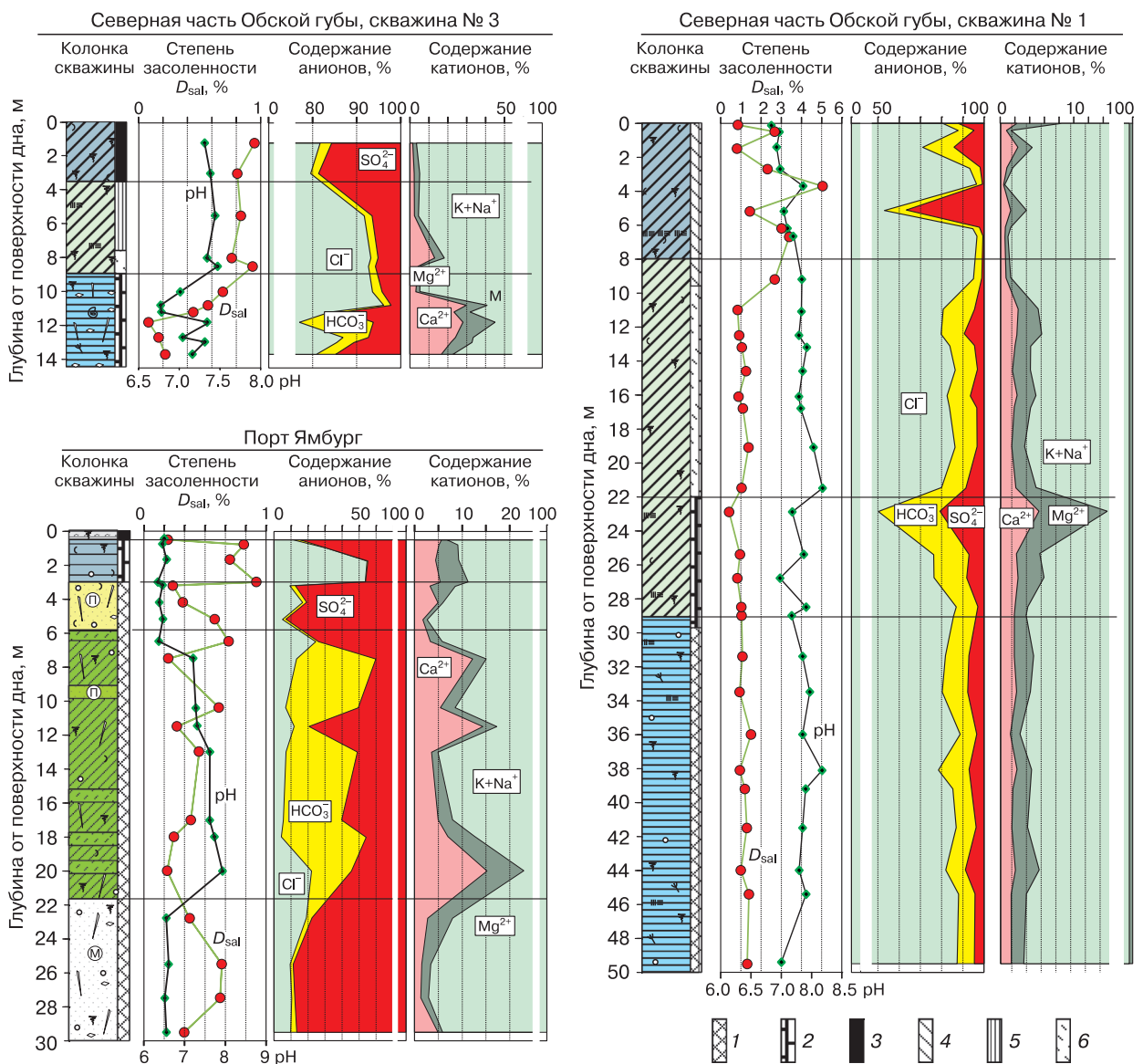


Рис. 3. Состав, состояние и засоленность многолетнемерзлых грунтов в разрезах скважин.

1, 2 – состояние многолетнемерзлых грунтов (1 – твердомерзлое, 2 – пластично-мерзлое); 3–5 – консистенция талых грунтов (3 – текучая, 4 – мягкотекучепластичная, 5 – тугопластичная); 6 – охлажденные грунты.

чительно морской тип засоления. Преобладают ионы Cl^- и $\text{K} + \text{Na}^+$. В скв. № 1 и 2 засоленность многолетнемерзлых грунтов в основном сильная. Значения степени засоленности часто превышают 1 %, достигая местами 1.4–1.5 %.

В разрезе скв. № 3 в верхней части вскрытого мерзлого интервала развиты сильно-среднезасоленные мерзлые грунты ($D_{\text{sal}} = 0.37\text{--}0.69\%$). В нижней части преобладают незасоленные и слабозасоленные образования ($D_{\text{sal}} = 0.08\text{--}0.22\%$).

ТЕМПЕРАТУРА ГРУНТОВ

Измеренная температура мерзлого керна, полученного при бурении в акватории порта Ямбург, на контакте приповерхностного слоя верхнеолоценовых илов и подстилающих мерзлых древнеолоценовых глин на глубине около 0.5 м от дна, составляет $-0.7\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4). В верхней части толщи каргинских суглинков и сартанских песков она изменяется от -2.2 до $-3.7\text{ }^\circ\text{C}$.

Значения измеренных температур мерзлых грунтов, установленных в скв. № 1 и 2 в северной части Обской губы, весьма низкие. Разница между измеренными температурами и температурой фазового перехода составляет более $1\text{ }^\circ\text{C}$ и в целом увеличивается с глубиной. В разрезах данных скважин наблюдается четко выраженный отрицательный градиент. Измеренные значения в скв. № 1 уменьшаются от кровли к подошве вскрытого интервала, сложенного ММП, от -2.1 до $-4.8\text{ }^\circ\text{C}$. В скв. № 2 температура также понижается вниз по разрезу интервала, сложенного ММП, от -1.8 до $-4.1\text{ }^\circ\text{C}$.

В скв. № 3 измеренные температуры мерзлых кернов относительно высокие и близки к точке фазового перехода. В разрезе отмечается слабо выраженный положительный градиент. В верхней части вскрытого мерзлого интервала температуры составляют $-1.2\text{--}-1.1\text{ }^\circ\text{C}$, вниз по разрезу возрастают до $-0.7\text{--}-0.6\text{ }^\circ\text{C}$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На примыкающих к Обской и Тазовской губам полуостровах Ямал, Гыданский, Явай и Тазовский, а также островах Белый, Шокальского и др. ММП мощностью до 300–500 м развиты практически повсеместно [Баулин, 1967; Дубиков, 2002]. У побережья мерзлые грунты в различной степени засолены. Их температура на отметках нулевых годовых колебаний достигает $-6\text{--}-8\text{ }^\circ\text{C}$.

В то же время многолетнемерзлые породы установлены и в открытой акватории Карского моря. Здесь они представляют собой реликтовые эпигенетические образования [Неизвестнов, 1981; Рокос и др., 2009], сформированные около 18 тыс. лет назад в течение сартанской регрессии, когда уровень моря понизился до отметки около -100 м.

При последующей трансгрессии современного арктического бассейна рассматриваемые образования в значительной степени деградировали. В настоящее время они развиты в виде довольно редких локальных массивов (субмаринных реликтовых ММП).

Для этих отложений характерна относительно высокая температура, близкая к точке фазового перехода, и слабо выраженный положительный температурный градиент (или его отсутствие). Верхние интервалы мерзлых массивов часто содержат обильный текстурный лед, количество которого, наряду с суммарной льдистостью, уменьшается с глубиной.

В отличие от мерзлых грунтов морского генезиса побережья Ямала, Гыданского и Тазовского полуостровов, засоленность многолетнемерзлых отложений открытого шельфа Карского моря в основном низкая. Преобладают слабо- и незасоленные образования. Причина относительно низкой засоленности сартанских субмаринных реликтовых ММП открытой акватории по сравнению с мерзлыми образованиями побережья остается неясной. В ряде случаев отмечается снижение степени засоленности вниз по разрезу.

На большей части площади акватории Обской и Тазовской губ развит сквозной талик. Очевидно, что формирование данного талика обусловлено теплым стоком впадающих в губы рек (Обь, Таз, Пур и др.). Кроме того, рассматриваемая акватория в основном мелководна (глубины моря менее 15 м), что способствует прогреву воды в теплый сезон года. В результате реликтовые многолетнемерзлые образования деградировали здесь практически полностью, за исключением отдельных участков небольшой площади.

Твердо- и пластично-мерзлые глинистые образования, вскрытые скв. № 1 и 2 в северной части Обской губы, по-видимому, относятся к прибрежным (вдольбереговым) мерзлым образованиям, которые непосредственно связаны с ММП прилегающего побережья.

Имеется ряд косвенных данных, позволяющих утверждать, что вдоль побережья Обской и Тазовской губ протягиваются полосы, в границах которых локализуются ММП. Так, в средней части Обской губы в районе мыса Каменный с помощью зондировочной буровой установки от побережья на прилегающую акваторию прослежено положение кровли толщи твердых прочных пород, определяемых как многолетнемерзлые грунты [Кокин, Цветинский, 2013]. Кровля этих образований протягивается в акваторию от приглубых берегов на расстояние до 30–40 м, от отмелей берегов – до 300–400 м.

Видимо, протаивание прибрежного мерзлого массива происходит как сверху, так и снизу. Благодаря этому в разрезе он имеет форму козырька.

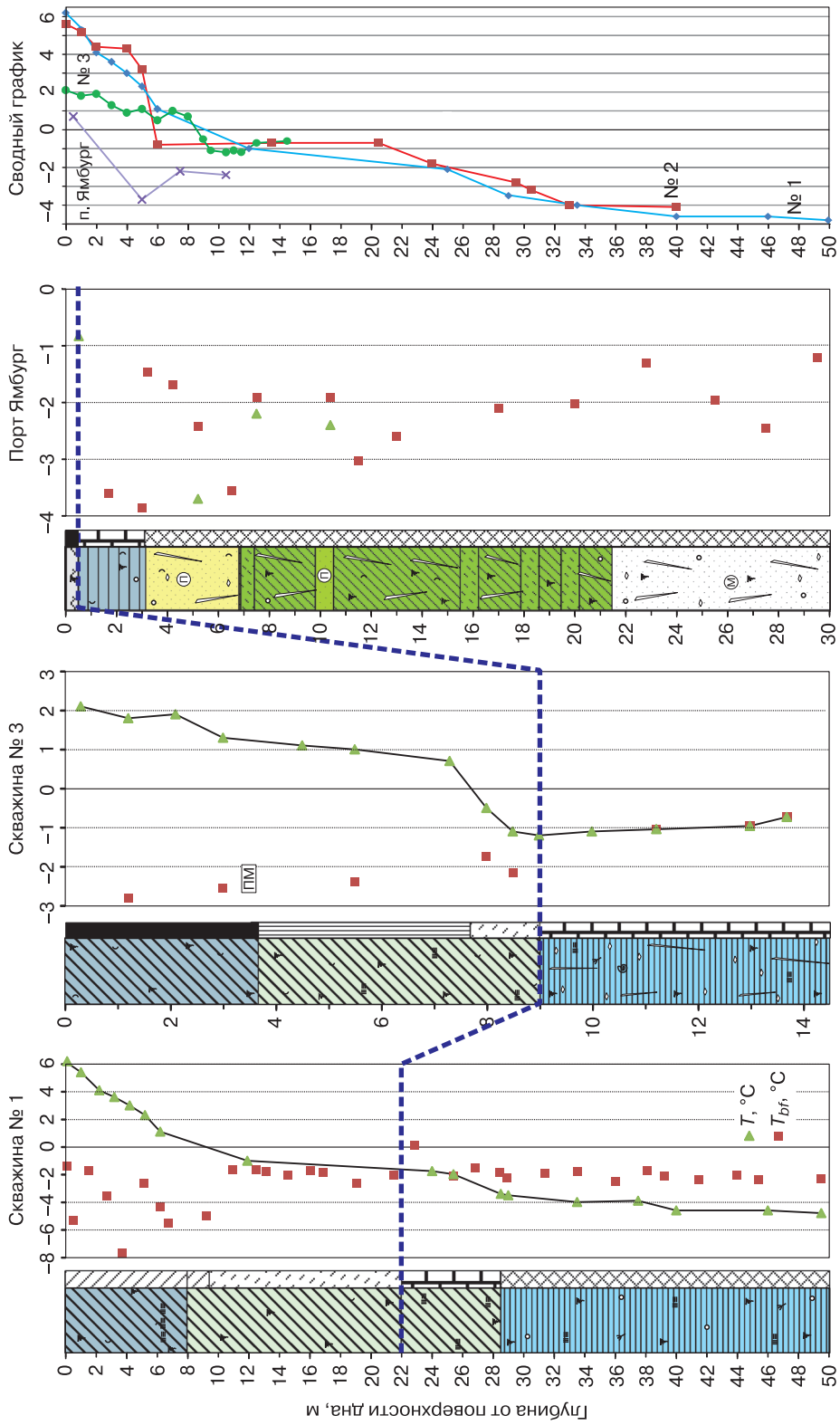


Рис. 4. Значения измеренных температур керна ($T, ^\circ\text{C}$) и температур начала замерзания ($T_{\text{дн}}, ^\circ\text{C}$) в разрезах скважин № 1, 3, порт Ямбург и сводный график измеренных температур.

Усл. обозн. см. рис. 1, 3.

Кровля этого козырька постепенно погружается в мористом направлении.

Вблизи восточного побережья в средней части Обской губы и в Тазовской губе, в районе Семаковского месторождения, по материалам электроразведочных работ, также были выделены ММП, простирающиеся на расстояние менее 1 км от берега [Колесов и др., 2008; Баранов и др., 2014]. Данные образования характеризуются повышенными значениями электрического сопротивления до 400–1000 Ом·м и пониженной поляризуемостью. Это связывается с наличием в осадочной толще льда. Отмечается, что в мористом направлении гипотетическая льдосодержащая толща быстро выклинивается.

Сплошность распространения вдольбереговых зон прибрежных реликтовых ММП может нарушаться таликами, образующимися напротив устьев впадающих (впадавших) в губы современных и древних (сартанских и раннеголоценовых) рек. Можно также предположить, что в кутовых частях Обской и Тазовской губ ММП полностью выклиниваются под действием теплого речного стока рек Обь, Пур и Таз. В то же время в северной части Обской губы ширина полос, в которых развиты многолетнемерзлые отложения, может увеличиваться ввиду усиления общей суровости климата и снижения влияния теплого речного стока.

Мерзлые образования, вскрытые скв. № 1 и 2 у побережья, существенно отличаются высокой засоленностью и полным отсутствием сегрегационного льда от субмаринных реликтовых ММП открытой акватории Карского моря.

Измеренная в кернах этих скважин температура мерзлых грунтов может также рассматриваться как аномально низкая по отношению к температуре сартанских криореликтов открытого шельфа. Действительно, температура сартанских криореликтов акватории Карского моря составляет обычно $-0.8...-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Рокос и др., 2009], а минимальные температуры, отмеченные в скв. № 1 и 2, достигают $-4.1...-4.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 4). Скорее, эти значения ближе к температуре ММП примыкающего побережья.

По-видимому, аномально низкая температура мерзлых образований прибрежного массива Обской и Тазовской губ объясняется тем, что рассматриваемые ММП существенно моложе, чем мерзлые реликтовые образования шельфа Карского моря, сформированные в сартанский криохрон. В силу этого они подверглись тепловому воздействию в значительно меньшей степени, чем ММП открытого шельфа, которые в послесартанское время непрерывно находились под покровом водной толщи с температурой, превышающей температуру таяния.

В связи с этим можно предположить, что промерзание рассматриваемых образований произо-

шло в голоцене. По-видимому, это событие имело место в позднем дриасе около 9 тыс. лет назад или даже позднее. Авторы предполагают, что уровень моря при этом опустился до отметок около -15 м . В результате значительная часть площади акватории подверглась осушению, что вызвало довольно глубокое промерзание грунтового массива, обнаженного из-под водного покрова.

О том, что здесь в течение голоцена имела место регрессия, свидетельствует граница эрозийного несогласия между толщами нижне- и верхнеголоценового подкомплексов. Эта граница четко выделяется на буровых и сейсмоакустических профилях (см. рис. 2). К данной границе часто приурочены прослойки песков в тонких глинистых образованиях, скопления торфа и крупнообломочного материала. В подстилающих границе нижнеголоценовых отложениях отмечены следы древних криотурбаций, переуплотненные интервалы и другие признаки, говорящие о перерыве в осадконакоплении и пребывании нижнеголоценовых отложений в субаэральных условиях.

Многолетнемерзлые грунты, установленные в скв. № 3, тождественны по своей засоленности, температуре и характеру льдистости образованиям сартанских криореликтов открытой части Карского моря.

Отнести эти отложения к прибрежному голоценовому криореликту, по-видимому, нельзя. Эта скважина расположена на значительном удалении от берега, а кровля ММП вскрывается в ней на более высоких отметках, чем в скв. № 1 и 2, находящихся существенно ближе к береговой линии (см. рис. 1).

Кроме того, в соседних скважинах № 4 и 5, пробуренных на глубину до 20 м от дна и расположенных на линии профиля между точкой устья скв. № 3 и берегом Ямала, мерзлых грунтов не обнаружено (рис. 5).

В целом ММП, вскрытые скв. № 3, рассматриваются как образования островного сартанского криореликтового массива, аналогичного по своей природе одновозрастным мерзлым останцам открытого шельфа Карского моря. Предполагается, что подобные массивы встречаются лишь в пределах глубоководной северной части Обской губы, где температура придонных вод достаточно низкая, а воздействие теплого речного стока минимально.

Мерзлые отложения, вскрытые скважиной в порту Ямбург (см. рис. 1), являются в определенном смысле уникальными. Данная скважина была пробурена в сентябре 2002 г. после того, как в порту примерно за год до этого были выполнены работы по расширению и дноуглублению. Фактически скважина расположена на участке, который ранее находился на дневной поверхности и лишь совсем недавно оказался под водой. Многолетне-

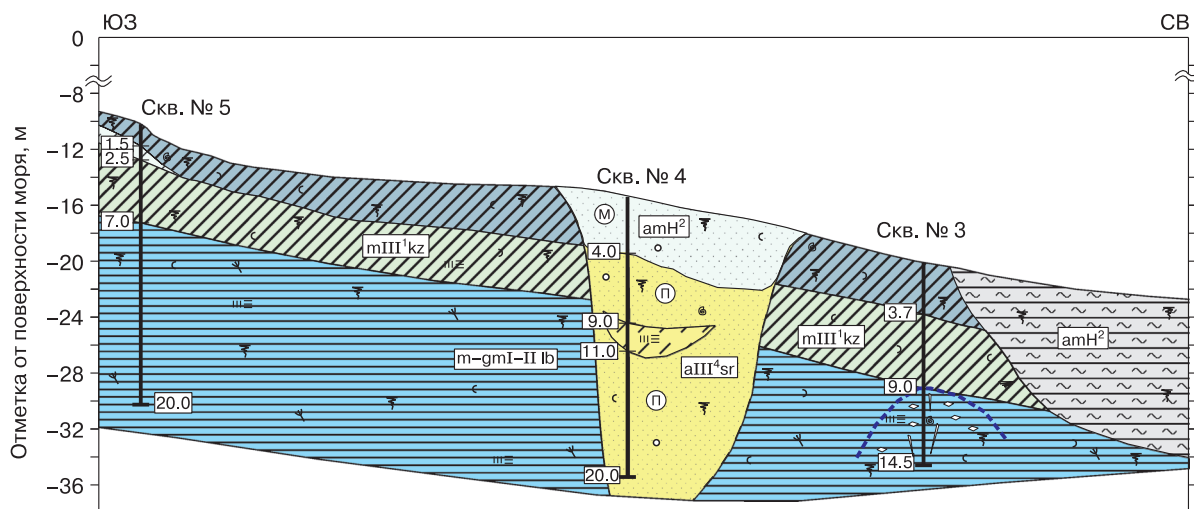


Рис. 5. Инженерно-геологический разрез по линии II–II, соединяющей устья скважин № 5 и 3.

Местоположение см. на рис. 1. Усл. обозн. см. рис. 1, 2.

мерзлые породы здесь сформировались и развивались в составе криолитозоны побережья Тазовского полуострова до того момента, когда они в результате выполненных земляных работ не оказались перекрыты толщей воды.

Оказавшийся под водным покровом мерзлый массив начал интенсивно деградировать под воздействием тепла морской воды и стока впадающей в акваторию порта р. Нюдямонтопоепоко-Яха. Глубина протаивания на момент бурения (приблизительно через год после завершения земляных работ) составила около 0.5 м. Несомненно, что деградация льдосодержащих отложений акватории порта Ямбург будет развиваться и усиливаться.

ВЫВОДЫ

1. На большей части площади Обской и Тазовской губ развит крупный, скорее всего, сквозной талик. ММП распространены в узких прибрежных полосах и в виде локальных островных массивов в северной части Обской губы, а также под дном искусственно врезанных участков акватории.

2. Сильнозасоленные низкотемпературные многолетнемерзлые глинистые отложения голоценового криореликта, вскрытые скважинами № 1 и 2, относятся к прибрежному массиву, развитому вдоль побережья акватории.

3. Слабо-среднезасоленные многолетнемерзлые глинистые грунты с относительно высокой температурой, содержащие ледяные включения, вскрытые скважиной № 3, представляют собой субаквальные реликтовые ММП, испытывавшие промерзание в сартанское время и аналогичные по своей природе мерзлым останцам открытой аква-

тории Карского моря. Подобные массивы могут встречаться лишь в глубоководной северной части Обской губы, где температура придонных вод отрицательная.

4. Пестрый по составу и неоднородный по засоленности многолетнемерзлый массив, вскрытый скважиной в порту Ямбург, перешел в субаквальное состояние за год до бурения данной скважины в результате земляных работ по углублению и расширению акватории порта. В настоящее время он испытывает интенсивное поверхностное оттаивание под воздействием теплого речного стока.

Литература

- Антипина З.Н., Арэ Ф.Э., Войченко В.В., Молочушкин Е.Н. Криолитозона Арктического шельфа Азии // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М., Наука, 1979, с. 183–189.
- Арэ Ф.Э. О субаквальной криолитозоне Северного Ледовитого океана // Региональные и теплофизические исследования мерзлых горных пород в Сибири. Якутск, Кн. изд-во, 1976, с. 3–26.
- Баранов М.А., Компаниец С.В., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А. Возможности электромагнитных зондирований при картировании многолетнемерзлых пород // Вестн. ИрГТУ, 2014, № 7 (90), с. 25–30.
- Баулин В.В. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности. М., Наука, 1967, 214 с.
- Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Облогов Г.Е., Широков Р.С. Динамика субаквальной мерзлоты Карского моря в меняющихся климатических условиях // Материалы пятой конф. геокриологов России. М., Унив. книга, 2016, т. 2, ч. 5, с. 26–30.
- ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М., Стандартинформ, 2018, 38 с.
- ГОСТ 26428-85. Почвы. Метод определения анионно-катионного состава водной вытяжки. М., Госкомстандарт, 1985, 6 с.

ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М., Госкомстандарт, 1985, 6 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Западно-Сибирская. Лист R-42 – п-ов Ямал. Объяснит. записка. СПб., Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 2015, 366 с.

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

Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М., ГЕОС, 2002, 246 с.

Жигарев Л.А. Криолитозона арктических морей в позднем плейстоцене и голоцене / Л.А. Жигарев, Л.А. Суходольская, В.П. Чернядьев. М., Изд-во Моск. ун-та, 1982, 93 с.

Колесов В.В., Вовк В.С., Дзюбло А.Д., Кудрявцева Е.О. Разведка и обустройство месторождений в прибрежной зоне Обской губы // Газ. пром-сть, 2008, № 12, с. 66–68.

Кокин О.В., Цвечинский А.С. Геокриологическое строение подводного берегового склона Обской губы в зоне контакта с припаем // Соврем. подходы и перспект. технологии в проектах освоения нефтегазовых месторождений Российского шельфа, 2013, № 3 (14), с. 67–69.

Неизвестнов Я.В. Мерзлотно-гидрогеологические условия зоны арктических шельфов СССР // Криолитозона арктического шельфа. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1981, с. 18–28.

Рекант П.В., Васильев А.А. Распространение субаквальных многолетнемерзлых пород на шельфе Карского моря // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 4, с. 69–72.

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

СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализ. редакция СНиП 2.02.04-88. М., Минрегион РФ, 2011, 123 с.

Соловьев В.А. Криолитозона шельфа и этапы ее развития // Основные проблемы палеогеографии позднего кайнозоя Арктики. Л., Недра, 1983, с. 185–192.

Унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины / Ред. В.С. Волкова, А.Е. Бабушкин. Новосибирск, СНИИ-ГГиМС, 2000, 64 с.

Шполянская Н.А. Плейстоцен-голоценовая история развития криолитозоны Российской Арктики “глазами” подземных льдов. М.; Ижевск, Ин-т компьют. исследований, 2015, 344 с.

References

Antipina Z.N., Are F.E., Voichenko V.V., Molochushkin E.N. The cryolithozone of the Asian Arctic shelf. In: Pozdnechetvertichnaya istoria i sedimentogenez okrainnykh i vnutrennykh morei [Late Quaternary History and Sedimentogenesis of Marginal and Inland Seas]. Moscow, Nauka, 1979, p. 183–189 (in Russian).

Are F.E. On the subaqual cryolithozone of the Arctic Ocean. In: Regionalnye i teplofizicheskie issledovaniya merzlykh gornykh porod v Sibiri [Regional and Thermo-physical Investigations of Permafrost in Siberia]. Yakutsk, Knizhnoe izd-vo, 1976, p. 3–26 (in Russian).

Baranov M.A., Kompaniets S.V., Buddo I.V., Misyurkeeva N.V., Agafonov Yu.A. Capabilities of electromagnetic sounding in the mapping of permafrost. Vestnik IrGTU, 2014, No. 7 (90), p. 25–30.

Baulin V.V. Geokriologicheskie uslovia Zapadno-Sibirskoi nizmennosti [Geocryological Conditions of the West-Siberian Lowland]. Moscow, Nauka, 1967, 214 p. (in Russian).

Vasiliev A.A., Streletskaya I.D., Oblogov G.E., Shirokov R.S. Submarine permafrost dynamics in the Kara Sea under climate change. In: Proc. of the 5th Conf. of Russian Geocryologists. Moscow, Universitetskaya Kniga, 2016, vol. 2, pt. 5, p. 26–30.

ГОСТ 25100-2011. Soils. Classification. Moscow, Standartinform, 2018, 38 p.

ГОСТ 26428-85. Soils. Methods for determination of cation-anion content in water extract. Moscow, Goscomstandart, 1985, 6 p.

ГОСТ 26423-85. Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH, and solid residue of water extract. Moscow, Goskomstandart, 1985, 6 p.

State Geological Map of the Russian Federation (1:1 000 000, 3rd gen.). The West-Siberian Series. Sheet R-42 – Yamal Peninsula. Explanatory Note. St. Petersburg, VSEGEI, 2015, 366 p.

Danilov I.D. Polyarnyi Litogenez [Polar Lithogenesis]. Moscow, Nedra, 1978, 238 p. (in Russian).

Dubikov G.I. Sostav i kriogennoe stroenie merzlykh tolshch Zapadnoi Sibiri [Composition and Cryogenic Structure of Permafrost in West Siberia]. Moscow, GEOS, 2002, 246 p. (in Russian).

Zhigarev L.A., Sukhodolskaya L.A., Chernyadiev V.P. Kriolitozona Arkticheskikh morei v pozdнем Pleistotsene i Golotsene [The cryolithozone of Arctic Seas in the Late Pleistocene and Holocene]. Moscow, Moscow University Press, 1982, 93 p. (in Russian).

Kolesov V.V., Vovk V.S., Dzyublo A.D., Kudryavtseva E.O. Prospecting and field facilities construction in the coastal zone of Ob Bay. Gazovaya Promyshlennost' [Gas Industry], 2008, No. 12, p. 66–68 (in Russian).

Kokin O.V., Tsvetsinskiy A.S. Geocryologic structure of underwater shelf of the Ob Bay in the area of contact with fast ice. In: Sovremennye podkhody i perspektivnyye tekhnologii v proektakh osvoenia neftegazovykh mestorozhdenii Rossiiskogo shelfa [Modern Approaches and Advance Technologies for oil and gas fields development projects on Russian Arctic Shelf], 2013, No. 3 (14), p. 67–69 (in Russian).

Neizvestnov Ya.V. Cryotic hydrogeological conditions of the zone of Arctic shelves of the USSR. In: Kriolitozona Arkticheskogo shelfa [Permafrost Zone of the Arctic Shelf Area]. Yakutsk, IMZ SO AN SSSR, 1981, p. 18–28 (in Russian).

Rekant P.V., Vasiliev A.A. Offshore permafrost in the Kara Sea. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2011, vol. XV, No. 4, p. 69–72.

Rokos S.I., Dlugach A.G., Loktev A.S., Kostin D.A., Kulikov S.N. Permafrost of the Pechora and Kara Sea shelves: genesis, composition, distribution and occurrence. Inzhenernye Izslyskaniya [Geotechnical Surveys], 2009, No. 10, p. 38–41 (in Russian).

SP 25.13330.2012. Bases and Foundations on Permafrost. Construction Rules. Updated edition of SNiP 2.02.04-88. Moscow, Minregion RF, 2011, 123 p.

Soloviev V.A. Offshore cryolithozone stages of its evolution. In: Osnovnye problemy paleogeografii pozdнего kainozoya Arktiki [Principle Problems of Late Cenozoic Paleogeography of the Arctic]. Leningrad, Nedra, 1983, p. 185–192 (in Russian).

Volkova V.S., Babushkin A.E. (Eds.). Unified Regional Stratigraphic Chart of Quaternary Deposits of the West Siberian Plain. Novosibirsk, SNIIGGiMS, 2000, 64 p. (in Russian).

Shpolyanskaya N.A. Pleistotsen–Golotsen istoria razvitiya kriolitozony Rossiiskoi Arktiki “glazami” podzemnykh l'dov [Pleistocene–Holocene History of the Permafrost Evolution in Russian Arctic “through the Eyes” of Underground Ice]. Moscow; Izhevsk, Institute of Computer Science, 2015, 344 p. (in Russian).

Shpolyanskaya N.A. Pleistotsen–Golotsen istoria razvitiya kriolitozony Rossiiskoi Arktiki “glazami” podzemnykh l'dov [Pleistocene–Holocene History of the Permafrost Evolution in Russian Arctic “through the Eyes” of Underground Ice]. Moscow; Izhevsk, Institute of Computer Science, 2015, 344 p. (in Russian).

Shpolyanskaya N.A. Pleistotsen–Golotsen istoria razvitiya kriolitozony Rossiiskoi Arktiki “glazami” podzemnykh l'dov [Pleistocene–Holocene History of the Permafrost Evolution in Russian Arctic “through the Eyes” of Underground Ice]. Moscow; Izhevsk, Institute of Computer Science, 2015, 344 p. (in Russian).

Shpolyanskaya N.A. Pleistotsen–Golotsen istoria razvitiya kriolitozony Rossiiskoi Arktiki “glazami” podzemnykh l'dov [Pleistocene–Holocene History of the Permafrost Evolution in Russian Arctic “through the Eyes” of Underground Ice]. Moscow; Izhevsk, Institute of Computer Science, 2015, 344 p. (in Russian).

Shpolyanskaya N.A. Pleistotsen–Golotsen istoria razvitiya kriolitozony Rossiiskoi Arktiki “glazami” podzemnykh l'dov [Pleistocene–Holocene History of the Permafrost Evolution in Russian Arctic “through the Eyes” of Underground Ice]. Moscow; Izhevsk, Institute of Computer Science, 2015, 344 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 26 декабря 2018 г., после доработки – 25 февраля 2019 г., принята к публикации 7 марта 2019 г.