

Исследования ледового режима на акватории Хатангского залива в море Лаптевых© 2018 г. К.А. Корнишин¹, П.А. Тарасов¹, Я.О. Ефимов², Ю.П. Гудошников³,
С.М. Ковалев³, Е.У. Миронов^{3*}, Е.И. Макаров³, А.В. Нестеров³¹ПАО «НК «Роснефть», Москва, Россия; ²Арктический научно-проектный центр шельфовых технологий, Москва, Россия;³Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

*mir@aari.ru

Studies of the ice regime in the waters of the Gulf of Khatanga in the Laptev SeaК.А. Kornishin¹, П.А. Tarasov¹, Ya.O. Yefimov², Yu.P. Gudoshnikov³, S.M. Kovalev³,
Ye.U. Mironov^{3*}, Ye.I. Makarov³, A.V. Nesterov³¹PAO «NK «Rosneft», Moscow, Russia; ²Arctic Research Center for Continental Shelf Development, Moscow, Russia;³Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

*mir@aari.ru

Received December 16, 2017

Accepted March 9, 2018

Keywords: *ice cover, ice regime, ice ridges, Gulf of Khatanga, Laptev Sea, stamukha.***Summary**

The study was carried out to reveal characteristics of the ice regime of poorly explored water area of the Khatanga Bay in the South-Western part of the Laptev Sea. Actuality of the research is due to the high potential of hydrocarbon reserves in the license area «Khatangsky» of the PAO «NK «Rosneft». Currently available methods of monitoring ice cover and hydrometeorological conditions throughout the year were used. The main features of the hydrological regime of the region in the ice-free period, reflected in the spatial distribution of thermohaline characteristics and sea level fluctuations, are shown. The area under investigation has specific features of the conditions for the formation of ice cover: the entire area is covered with the fast ice; the winter fresh water inflow from Khatanga and Anabar rivers results in the desalination of sea water, and this promotes formation of ice cover, which differs in crystal structure and texture from both fresh and sea ices. These factors do influence on the mechanical properties of ice, including its strength. It was found that the average and maximum values of strength of the smooth and deformed ice of the Khatanga Gulf are approximately twice as high as the similar values of the sea ice strength in the southern part of the Laptev Sea. The basic features of the spatial distribution of different types of deformations of the ice cover such as lines of ice hummocks, zones of homogeneous ice hummocking, and *stamukhas* had been determined.

Citation: Kornishin K.A., Tarasov P.A., Yefimov Ya.O., Gudoshnikov Yu.P., Kovalev S.M., Mironov Ye.U., Makarov Ye.I., Nesterov A.V. Studies of ice regime in the water area of Khatangsky Bay, Laptev Sea. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2018. 58 (3): 396–404. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-396-404.

Поступила 16 декабря 2017 г.

Принята к печати 9 марта 2018 г.

Ключевые слова: *гряды торосов, ледовый режим, ледяной покров, море Лаптевых, стамухи, Хатангский залив.*

Цель исследований – выявить особенности ледового режима малоизученной акватории Хатангского залива в море Лаптевых. На основе круглогодичных исследований на стационаре «Хастыр» и весенних исследований с использованием вертолёта обнаружены новые особенности формирования ледяного покрова, связанные с притоком пресных вод и большого количества примесей, которые приводят к повышенной прочности льда. Установлено пространственное распределение различных видов деформированного льда.

Введение

Хатангский залив, находящийся в юго-западной части моря Лаптевых, отличается суровыми климатическими условиями: низкими температурами воздуха, штормовыми ветрами, частыми туманами и метелями, тяжёлыми ледовыми условиями [1]. Это существенно затрудняет хозяйственное освоение района и требует детального учёта природно-климатических условий региона. Геолого-

разведочные работы, проводимые ПАО «НК «Роснефть» на лицензионном участке «Хатангский», показывают высокие запасы углеводородов в этом районе. Планируется добыча нефти на этом участке с организацией необходимой инфраструктуры. Корректный учёт влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на объекты промышленной инфраструктуры требует более детального знания как ледового, так и гидрометеорологического режима района. В настоящее время подобный

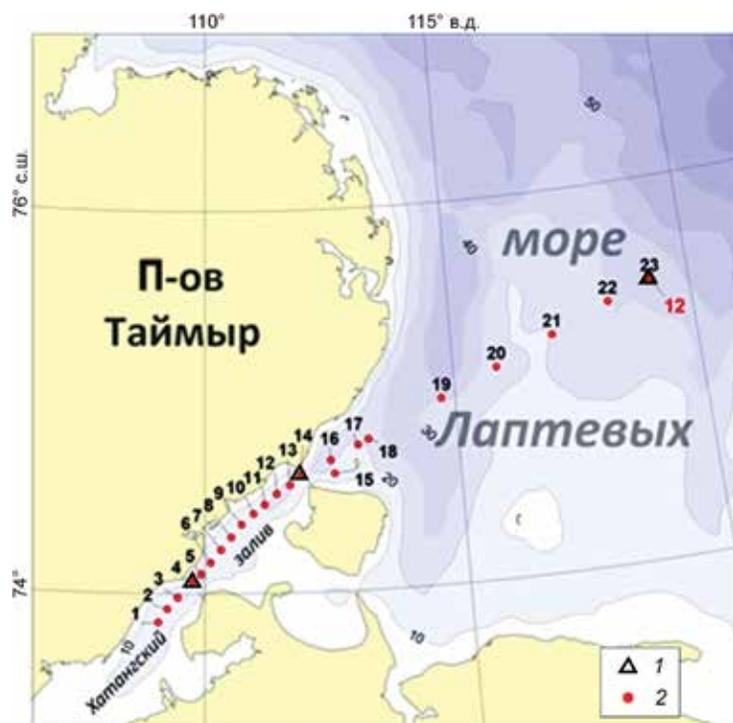


Рис. 1. Схема положения установленных автономных донных станций (АДС – 1) и станций зондирования электропроводности, температуры и глубины (СТД – 2) в море Лаптевых

Fig. 1. A scheme of location of the positioned self-contained bottom stations (ABS – 1) and sounding conductivity, temperature and depths (STD – 2) stations in the Laptev Sea

режим Хатангского залива изучен недостаточно из-за отсутствия регулярных морских экспедиций и прекращения работы полярных станций (мыс Косистый, остров Преображения) в этом регионе. К особенностям ледового режима Хатангского залива относятся: существенное влияние стока р. Хатанга на формирование ледяного покрова; продолжительный ледовый период (9–10 месяцев); распространение припая на всей акватории; толщина льда более 1,8 м; большой объём деформированного льда в виде гряд торосов и стамух [2, 3].

Цель нашего исследования – выявление гидрометеорологических условий в течение всего года и особенностей ледового режима малоизученной акватории Хатангского залива в юго-западной части моря Лаптевых с помощью современных методов мониторинга. Мы использовали автоматические донные станции, зонды для определения вертикальных профилей температуры и солёности воды, гидролокатор для выяснения рельефа нижней поверхности ледяных образований, зонд-индентор для определения прочности льда; кроме того, выполнена аэрофотосъёмка ледяного покрова с вертолёта и с беспилотного летательного аппарата [4].

Для исследования природной среды южной части моря Лаптевых и Хатангского залива с 12 по 25 августа 2016 г. с борта НЭС «Академик Трешников» (ААНИИ) проведены гидрометеорологиче-

ские исследования в Хатангском заливе. На берегу п-ова Хара-Тумус, в устье р. Хастыр была высажена группа из девяти специалистов с грузом для организации временной полевой научной базы (ВПБ). Осенью 2016 г. здесь была организована ВПБ «Хастыр», на которой вели круглогодичные метеорологические, ледовые и гидрологические наблюдения. Для исследования ледового режима с 23 марта по 5 мая 2017 г. с этой базы была организована комплексная ледоисследовательская экспедиция «Хатанга-зима–2017» методом вертолётного десанта. В 2017–2018 гг. на этой базе продолжали круглогодичный мониторинг природных условий района.

Характеристика гидрометеорологических условий в летний период

Исследования гидрометеорологических условий Хатангского залива начались в августе 2016 г. в рамках экспедиции «Кара-лето–2016». В заливе и на прилегающей акватории моря Лаптевых 15 августа 2016 г. были установлены две автономные донные станции (АДС) для наблюдений за колебаниями уровня моря в безлёдный период, а 25–26 августа 2016 г. выполнено 23 СТД-зондирования (Conductivity, Temperature and Depth) водной толщи. Схема работ приведена на рис. 1.

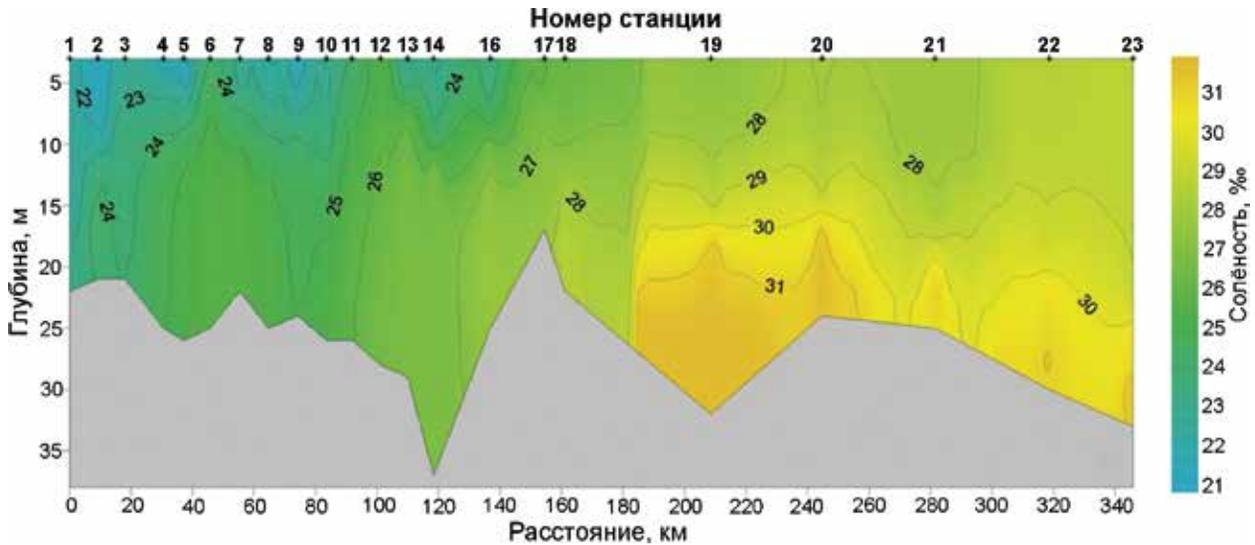


Рис. 2. Распределение солёности (‰) морской воды на океанографическом разрезе в Хатангском заливе и на выходе из него в море Лаптевых по данным экспедиции «Кара-лето–2016»

Fig. 2. Distributions of sea water salinity (‰) at oceanographic section in the Khatangsky bay and at its entrance into the Laptev Sea according to data of the expedition «Kara-summer–2016»

В результате радиационного прогрева в Хатангском заливе температура поверхностного слоя моря в августе 2016 г. достигла 4,2 °С. Минимальные значения солёности поверхностного слоя в результате влияния стока р. Хатанга составили 20,9‰ на станции (далее ст.) № 2 (рис. 2). При продвижении на северо-восток по профилю STD-зондирований на границе Хатангского залива и мористой части моря Лаптевых в районе ст. № 16–18 температура поверхностного слоя воды опустилась ниже 0 °С, а солёность возросла до 26–27‰. В придонном горизонте, в юго-западной части разреза Хатангского залива, наблюдались воды с положительной температурой (до 2,6 °С на ст. № 1) и солёностью от 23 до 28‰. В северо-восточной части разреза температура воды была отрицательной, достигшей наименьших значений –1,5 °С в придонном слое на ст. № 19, а значение придонной солёности было наибольшим и составило 31,6‰. Данные воды образовались в летний период 2016 г. в результате смешивания водных масс моря Лаптевых и Хатангского залива.

Распределение температуры и солёности на разрезе сформировалось под влиянием интенсивной вертикальной конвекции, распространяющейся до дна и вызванной ветровым перемешиванием и приливными течениями. Минимальное значение плотности воды

(1015,4 кг/м³), определяемое давлением, температурой и солёностью, зафиксировано в поверхностном слое на ст. № 5. Максимальное значение плотности воды (1025,6 кг/м³) наблюдалось на придонном горизонте на ст. № 19.

Продолжительность наблюдений за колебаниями уровня моря в Хатангском заливе превысила 50 суток. В проливе Северный размах колебаний уровня составила 270 см, в то время как у п-ова Хара-Тумус – 208 см. Число сгонных ситуаций за весь период наблюдений в 1,8 раза превышало число нагонных явлений. Непрерывная продолжительность нагонов не превышала шести суток, а сгонов – 22 суток. Размах колебаний уровня, вызванный сгонно-нагонными явлениями, за весь период наблюдений составил 90 см. До настоящего времени приливы в Хатангском заливе изучены недостаточно для объективного описания приливного режима. Имеются лишь приближённые и малодостоверные оценки отдельных общих характеристик приливных течений Хатангского залива, выполненные на основе суточных и полусуточных циклов измерений течений на судовых станциях [5].

На изучаемой акватории в открытом море наблюдения за его уровнем с использованием автономных донных станций проводились впервые. Полученные данные позволяют описать закономерности формирования и распространения ос-

новых волн прилива в северной части Хатангского залива, но только для летнего периода, а точнее — для августа—сентября. Для остальных периодов года ввиду сильной сезонной изменчивости характеристик прилива требуется продолжение соответствующих наблюдений.

Гармонический анализ измерений колебаний уровня моря проводился по методу наименьших квадратов с использованием методики, изложенной в работе [6]. По результатам обработки собранных материалов приливы в северной части Хатангского залива носят правильный полусуточный характер. Критерий Дуванина для обеих автономных донных станций не превышает 0,27. В сизигийно-квадратурном цикле изменчивость кривой прилива выражена резко. Отношение сизигийной величины прилива к квадратурной составляет 2,9. Возраст полусуточного прилива равен 2,9 суток, а суточного — 1,0 суток. Это означает, что при совпадении моментов наступления астрономических сизигий и максимальных склонений Луны через трое суток сизигийные приливы будут складываться с тропическими. Приливная волна распространяется по оси залива с севера на юг. Расстояние от северной автономной донной станции до южной в летний период волна прилива M_2 проходит за 116 минут. В проливе Северный среднесизигийная величина прилива в летний период составляет 166 см, а у п-ова Хара-Тумус — 102 см.

Круглогодичные исследования гидрометеорологических условий и ледяного покрова на временной полевой научной базе «Хастыр»

Программа круглогодичных гидрометеорологических исследований на базе «Хастыр» предусматривала метеорологические, актинометрические и гидрологические наблюдения. Метеорологические и актинометрические наблюдения проводились на метеорологической площадке базы. Гидрологические наблюдения включали в себя термохалинное зондирование толщи вод Хатангского залива, которое выполнялось со льда в точке постоянных наблюдений (один раз в 10 дней), а также установку двух акустических доплеровских профилографов течений: а) для измерения скорости и направления подлёдных течений в районе научной базы; б) для измерения скорости

и направления подлёдных течений и наблюдений за колебаниями уровня моря в бухте Нордвик.

Полученная в ходе выполненных наблюдений информация существенно расширила представление о гидрологических условиях Хатангского залива в зимний период. Продолжительность серии наблюдений за подлёдными течениями в районе базы была более 100 суток, в бухте Нордвик — 24 суток. Характерные значения температуры и солёности для Хатангского залива по наблюдениям в зимний период составили $-1,2 \div -1,4$ °C и 22–26‰ (плотность воды 1018–1021 кг/м³). На характер подлёдных течений в районе существенно влияют приливные силы. В вертикальном распределении, как правило, прослеживается неоднородность на придонных горизонтах за счёт сложного рельефа дна. Максимальная скорость подлёдных течений не превышает 40 см/с.

Ледовые исследования на базе «Хастыр» состояли из визуальных ледовых наблюдений, выполняемых в непосредственной близости от полевой базы с высокого берега, а также инструментальных наблюдений за физическими, морфометрическими, динамическими и механическими характеристиками ледяного покрова, которые вели в точках постоянных наблюдений на акватории залива. Визуальные ледовые наблюдения, выполняемые ежедневно, включали в себя оценку (в баллах) количества припая, дрейфующего льда и чистой воды, сплочённости дрейфующего льда, торосистости и разрушенности льда, заснеженности и загрязнённости припая. Наблюдения за морфометрическими характеристиками и физическими свойствами льда предусматривали измерения толщины, температуры, солёности и плотности льда, толщины снега, возвышения льда над уровнем воды, а также описание текстуры льда. При анализе прочностных характеристик льда измерялась прочность образцов льда при одноосном сжатии, прочность круглых образцов льда при центральном изгибе, локальная прочность в условиях всестороннего сжатия и прочность при изгибе консольных балок на плаву [7].

Исследуемый район имеет некоторые специфические особенности условий формирования ледяного покрова:

1) весь район покрыт припайным льдом, сформировавшимся в начале зимнего периода и достигшим в мае 2017 г. толщины на ровных участках до 1,8–2,0 м;

2) в распреснённой воде при нарастании льда захватывается меньше растворённых в воде солей, чем при замерзании морской воды, поэтому лёд становится менее солёным;

3) наличие стока пресных вод суши, близкое расположение заприпайной полыньи, малые глубины акватории и наличие стабильной температурной стратификации воды от нижней поверхности льда существенно влияют на образование внутриводного и донного льда, который, в свою очередь, обуславливает строение льда и содержит значительное количество неорганических включений не только в виде мелких зёрен грунта, но и камней размером в несколько сантиметров;

4) подлёдные течения создают условия для пространственной упорядоченности волокнистых кристаллов льда, что приводит к выраженной пространственной анизотропии некоторых физических и механических свойств льда.

Все перечисленные факторы влияют на кристаллическое строение морского льда данного региона и его текстуру, от которых зависят механические свойства льда, в том числе его прочность. Прочностные свойства морского льда этого района — очень высокие. Значения прочности отдельных круглых пластин ровного льда при центральном изгибе в феврале 2017 г. превышали 3,5 МПа, что значительно больше прочности круглых пластин морского льда. Прочности при одноосном сжатии некоторых образцов льда, выбуренных как перпендикулярно, так и параллельно поверхности намерзания, более чем вдвое превышали максимальные прочности морского льда. Максимальные значения локальной прочности ровного льда также почти в 2 раза больше максимальных значений локальной прочности ровного морского льда более морской части акватории моря Лаптевых [7].

Исследования ледяного покрова в зимне-весенний период

На акватории Хатангского залива ледовые изыскания ранее не проводились, поэтому измерений характеристик ледяного покрова (морфометрия торосов, стамух и припая, физико-механические свойства льда, динамика льда и др.) недостаточно для получения исходных значений при расчёте ледовых нагрузок и других необхо-

димых параметров. Припай Хатангско-Анабарского района представляет собой область сильно деформированного льда. Толщина ровного льда Хатангского района изменялась в диапазоне 1,4–2,25 м, следовательно, разброс изменения толщины льда составляет 0,85 м. Разница в толщине льда определяется главным образом временем формирования ледяных полей. До становления припая в дрейфующем льду образуются разводья, которые, замерзая, дают начало нарастанию новых ледяных полей. Данный эффект касается в основном Анабарского залива. Толщина снега на полях ровного льда в период измерений составляла в среднем около 5 см.

К характерным ледяным образованиям деформированного состояния льда относятся: однородные зоны разной степени торошения льда; гряды торосов; отдельные стамухи; системы стамух. Анализ пространственного распределения деформированного льда позволяет выделить районы с преобладанием различных характерных ледяных образований: Анабарский залив, бухты Нордвик, Хатангский залив, проливы Северный и Восточный. Особенности пространственного распределения разных видов деформации припайного льда заключаются в следующем:

1) деформированное состояние припайного льда Хатангско-Анабарского района имеет географические особенности, обусловленные батиметрией района и орографией береговой черты;

2) бухта Нордвик, Хатангский залив, пролив Северный и Анабарский залив характеризуются преобладанием тех или иных видов деформированного льда (отдельные стамухи, системы стамух и гряды торосов) в различных локальных районах (рис. 3);

3) генезис формирования и динамика структур типичных ледяных образований связаны с приливо-отливными явлениями.

Из-за малых глубин (до 10 м) на акватории Хатангского залива наиболее мощные ледяные образования — стамухи, т.е. торосистые образования, сидящие на грунте. За период экспедиции исследовано 16 стамух и 24 гряды торосов. При этом использовались метод водяного термобурения, тахеометрическая и гидролокационная съёмки, аэрофотосъёмка с вертолёта и беспилотного летательного аппарата. Максимальные значения паруса (14,5 м) и общей толщины (24,4 м) зафиксированы на стамухе, исследованной в бухте Нордвик,

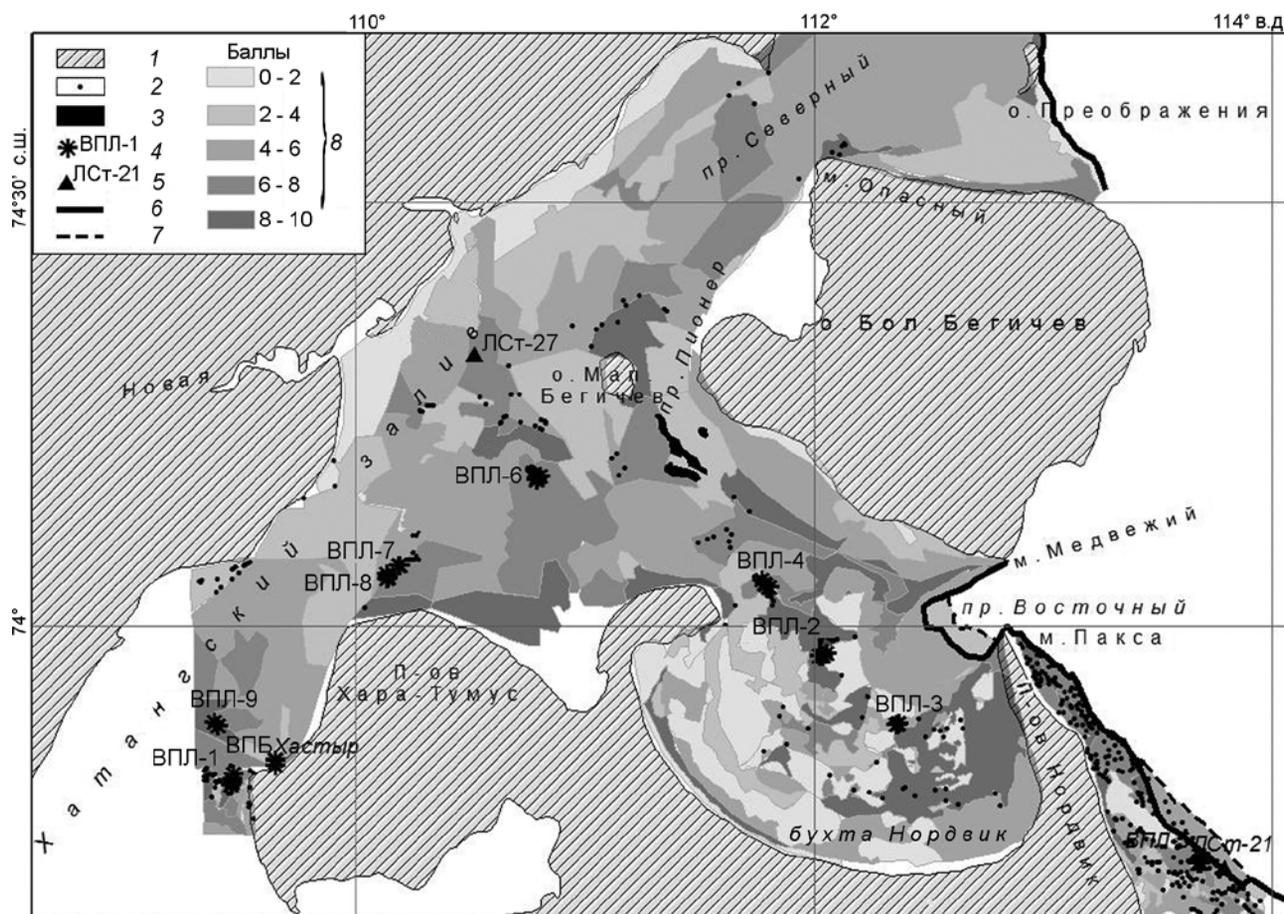


Рис. 3. Пространственное распределение деформированного льда в Хатангско-Анабарском районе: 1 – береговая зона; 2 – стамуха; 3 – системы стамух; 4 – временный ледовый лагерь; 5 – ледовая станция; 6 – граница первичного припая; 7 – граница вторичного припая; 8 – зоны торосистого льда с разной интенсивностью, баллы

Fig. 3. Spatial distribution of the deformed ice in the Khatangsky and Anabarsky area: 1 – shore zone; 2 – stamukha; 3 – systems of stamukhas; 4 – temporary ice camp; 5 – ice station; 6 – boundary of primary fast ice; 7 – boundary of secondary fast ice; 8 – zones of ice with different concentration of ice ridges, points

а максимальное значение килля (10,3 м) – на стамухе, изученной вблизи мыса Хастыр. Средние значения высот парусов (5,8 м), осадок килей (8,2 м) и общей толщины (13,5 м) в стамухах также довольно значительны. Отношение киль/парус в среднем для всех стамух составило 1,75, что существенно меньше аналогичного значения для торосов, так как в стамухах на соотношение килля и паруса определяющее влияние оказывает глубина места [8, 9]. В связи с этим в отличие от гряд торосов более характерная величина для оценки вертикальных размеров стамух – общая толщина (парус плюс киль) стамухи. Гистограмма общей толщины измеренных стамух приведена на рис. 4. Эмпирическое распределение общей толщины льда в стамухах наилучшим образом аппроксимируется гамма-распределением.

Гидролокационная съёмка позволяет исследовать рельеф нижней поверхности гряд торосов и стамух и получать двумерное распределение глубины килей ледяных образований. Совместный анализ тахеометрической и гидролокационной съёмки гряд торосов и стамух даёт возможность оценивать объёмные характеристики ледяного образования, строить 3D-модели и исследовать форму ледяного образования. С помощью анализа 3D-моделей выделено несколько характерных типов ледяных образований, отличающихся формой поперечного сечения – треугольной, трапециевидной или многовершинной, образованной в результате взаимодействия нескольких торосистых образований. Разные типы торосистых образований различаются соотношением ширины и осадки килля гряды тороса. Отдельный вид ледяного образования – ста-

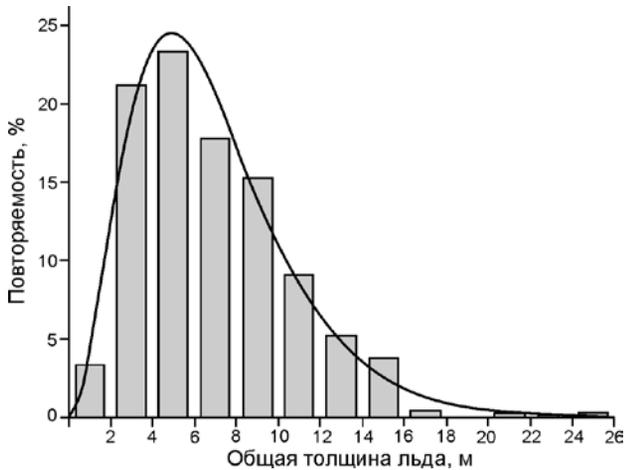


Рис. 4. Распределение общей толщины льда в стамухах. Сглаженной кривой показана аппроксимация эмпирических данных гамма-распределением

Fig. 4. Distribution of total ice thickness in the grounded hummocks.

Smoothed curve is shown approximation of empirical data by Gamma distribution

муха, киль которой внедряется в дно, в результате чего меняется соотношение парус/киль. В качестве примера на рис. 5 показаны трёхмерные модели гряды тороса и стамухи. Для построения изображения гряды тороса использовались данные тахеометрической и подводной гидролокационной съёмки. При построении изображения стамухи дополнительно привлекались расчётные данные по консолидированному слою, полученному при термобурении, который выделен тёмным цветом. Из рис. 5 хорошо видно, что в структуре тороса преобладает подводная часть (93–97% объёма), а в структуре стамухи килевая часть составляет только 65–70% объёма всей стамухи.

Анализ текстуры, вертикального распределения солёности и плотности ровного припайного льда, а также солёности воды в подлёдном слое позволил выделить в исследуемом районе четыре участка: Анабарский залив, бухту Нордвик, часть Хатангского залива севернее п-ова

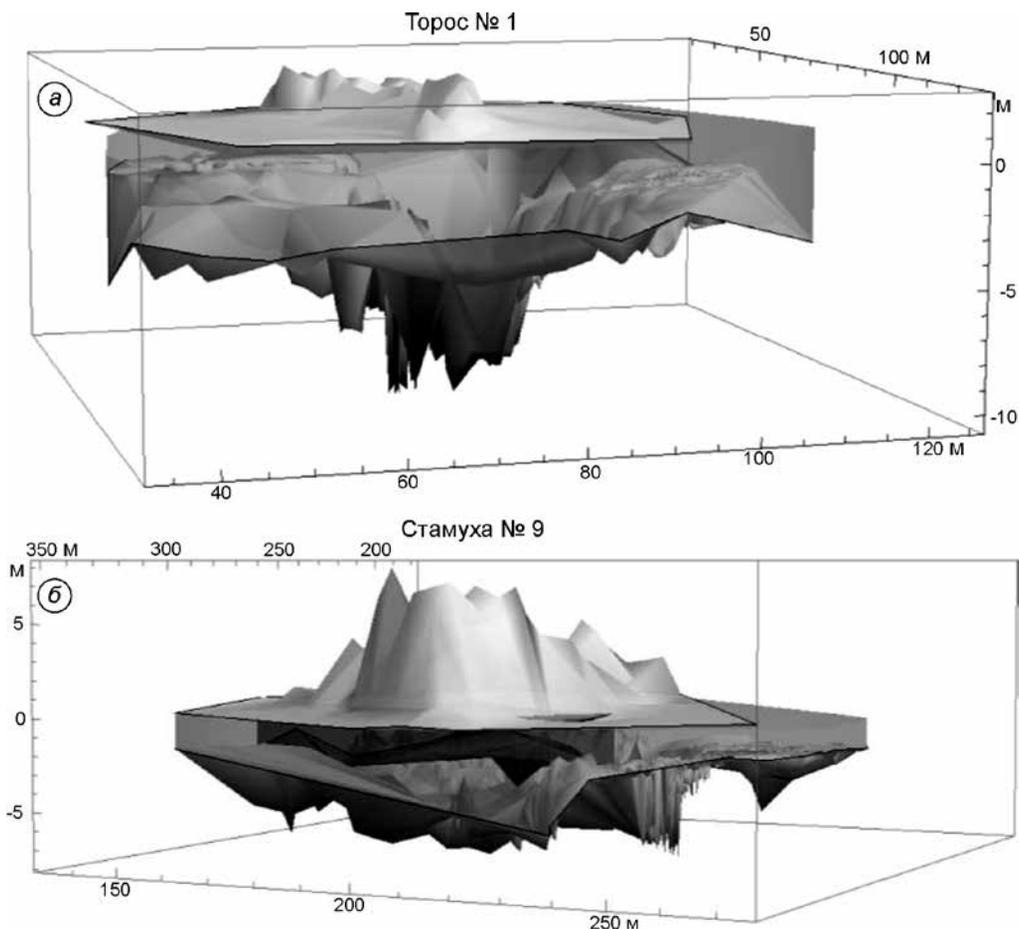


Рис. 5. Трёхмерное изображение гряды тороса (а) и стамухи (б)

Fig. 5. Three-dimensional image of the ridge of hummock (а) and grounded hummock (б)

Хара-Тумус и центральная часть Хатангского залива на траверзе мыса Преглубого. Наибольшую солёность имеет вода в северной части Анабарского залива, постепенно опресняясь к бухте Нордвик и к северной части Хатангского залива, становясь ещё более распреснённой в центральной части Хатангского залива. Все указанные районы расположены на стыке формирования льда различных групп по солёности воды – «В» (морские льды) и «Б» (льды распреснённых водоёмов), граница между которыми проходит по значению солёности воды 24,7‰, согласно классификации Н.В. Черепанова [10].

Строение и физические свойства льдов группы «Б» пока изучены недостаточно. Особенность льдов этой группы – разнообразие кристаллических форм и развитие небольших кристаллов. Наличие кристаллов внутриводного льда, наблюдающееся во всём районе, способствует поступлению их к фронту кристаллизации и формированию льда типа Б6, Б5 и Б4. Средняя солёность деформированного льда ниже, чем на ровных участках. Это связано с тем, что часть льда в торосях, и особенно в стамухах, находится выше уровня воды, и в этой части в весенний период происходит стекание рассола и опреснение льда. Кроме того, в местах деформации льда идёт интенсивное снегонакопление, которое способствует росту температуры льда. Более тёплый лёд сильнее подвержен процессам термометаморфизма по сравнению с холодным, поэтому и стекание рассола с образованием вторичных солевых включений в таком льду протекает более интенсивно.

Плотность льда зависит от количества и размеров воздушных, солевых и неорганических включений, кристаллического строения, температуры льда и других факторов. Средние значения плотности ровного льда для разных районов не сильно различаются, но сохраняется тенденция к уменьшению плотности от бухты Нордвик и Анабарского залива к центральной части Хатангского залива, что согласуется с распреснением льда по мере приближения к р. Хатанга. На рис. 6 показана зависимость средней плотности ровного припайного льда от средней солёности этого льда в четырёх выделенных районах.

Плотность деформированного льда варьирует в широких пределах, но в целом средняя плотность льда в торосях и стамухах ниже плотности ровных льдов. Плотность конкретных участков

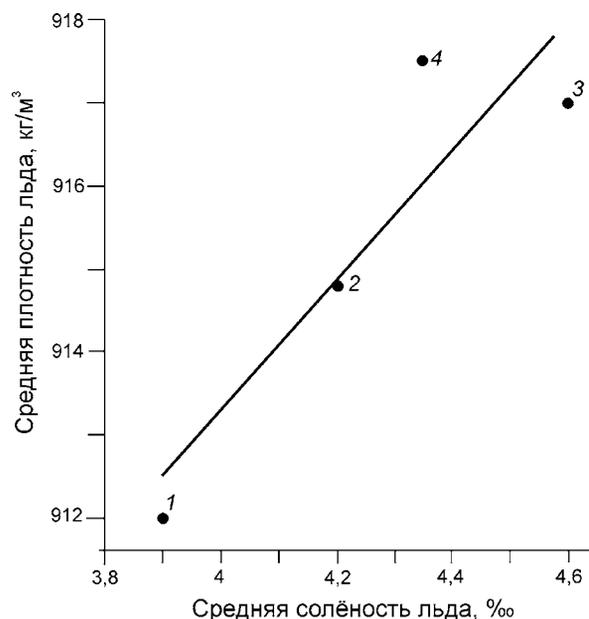


Рис. 6. Зависимость средней плотности ровного припайного льда в четырёх районах от средних значений солёности этого льда

Fig. 6. Dependence of the mean density of level fast ice in four areas on mean salinity values of this ice

всторощенного льда зависит в основном от плотности льда в блоках, слагающих торося, плотности соединительных участков, наличия набивного и шугового льда. Особенности строения и физические свойства обусловили высокие прочностные свойства льда этого района в весеннее время. Максимальные значения прочности ровного и деформированного льда на сжатие и изгиб примерно в два раза превышают аналогичные значения прочности морского льда. Средние прочностные характеристики ровного льда для разных районов не сильно различаются, но сохраняется тенденция к увеличению прочности на 6–8% от бухты Нордвик и Анабарского залива к центральной части Хатангского залива, что согласуется с распреснением льда по мере приближения к р. Хатанга.

Заключение

В 2016–2017 гг. авторами выполнены комплексные метеорологические, гидрологические и ледовые исследования на Хатангском лицензионном участке. Впервые получены инструментальные данные о колебаниях уровня моря, морфометрии гряд торося и стамух, физико-механических

свойствах льда, которые существенно расширили современные знания о ледовом режиме Хатангского залива и прилегающей акватории моря Лаптевых. Установлено, что ледяной покров Хатангского залива сформирован распреснёнными льдами группы «Б», по классификации Н.В. Черепанова. Определены физико-механические характеристики ровного льда и ледяных образований. Средние значения солёности и плотности льда в разных локальных районах близки, но существует тенденция их увеличения от центральной части Хатангского залива к бухте Нордвик и Анабарскому заливу.

Прочностные свойства льда этого района в весеннее время высокие. Максимальные значения прочности ровного и деформированного льда на сжатие и изгиб примерно в 2 раза превышают аналогичные значения прочности льда в южной части моря Лаптевых. Выявлены закономерности про-

странственного распределения различных видов деформированного льда — отдельных стамух, систем стамух и гряд торосов, на основе которых выделены локальные районы: Анабарский залив, бухта Нордвик, Хатангский залив, проливы Северный и Восточный. Полученные результаты будут использованы на различных стадиях освоения углеводородных месторождений на лицензионном участке «Хатангский», который расположен на акватории Хатангского залива и прилегающей части моря Лаптевых.

Благодарность. Исследования выполнены в рамках инновационной деятельности ПАО «НК «Роснефть».

Acknowledgements. The investigations were performed as part of the innovative activity of Public joint-stock company «NK «Rosneft».

Литература

1. Атлас Арктики. М.: ГУНИО, 1985. 204 с.
2. Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX — начале XXI века. СПб.: Изд. ААНИИ, 2012. 180 с.
3. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е.У. Миронова. СПб.: Изд. ААНИИ, 2010. 320 с.
4. Миронов Е.У., Гудошников Ю.П., Смирнов В.Н. Современные методы ледовых исследований и изысканий на шельфе арктических морей // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1 (103). С. 57–68.
5. Коптева А.В. Приливо-отливные явления моря Лаптевых // Тр. АНИИ. 1954. Т. 69. 207 с.
6. Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. СПб.: Изд. Русского геогр. об-ва, 1999. 109 с.
7. Корнишин К.А., Павлов В.А., Смирнов В.Н., Нюбом А.А., Ефимов Я.О. Определение локальной прочности льда с помощью скважинного зонда-индентора в морях Карском и Лаптевых // Науч.-техн. вестн. ОАО «НК «Роснефть». 2016. № 2. С. 85–89.
8. Ледяные образования Западной Арктики / Под ред. Г.К. Зубакина. СПб.: Изд. ААНИИ, 2006. 240 с.
9. Миронов Е.У., Порубаев В.С. Статистическая модель морфометрии гряды тороса в юго-западной части Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 3 (89). С. 49–61.
10. Черепанов Н.В. Классификация льдов природных водоемов // Тр. ААНИИ. 1976. Т. 331. С. 77–99.

References

1. *Atlas Arktiki*. Atlas of the Arctic. Moscow: GUNIO, 1985: 204 p. [In Russian].
2. *Karelin I.D., Karklin V.P. Pripay b zapripaynie polinyi arcticheskikh morey sibirskogo shelfa v konce XX — nachale XXI veka*. Fast ice and flow polynyas in the Arctic seas of Siberian shelf in the end of XX — beginning of XXI centuries. Saint-Petersburg: Publishing office of AARI, 2012: 180 p. [In Russian].
3. *Opasnye ledovye yavleniya dlya sudokhodstva*. Dangerous ice phenomena for navigation in the Arctic. Edited by E.U. Mironov. Saint-Petersburg: Publishing office of AARI, 2010: 320 p. [In Russian].
4. *Mironov E.U., Gudoshnikov Yu.P., Smirnov V.N. Sovremennye metody ledovykh issledovaniy i izyskaniy na shelfe arcticheskikh morey*. Modern methods of ice investigations and surveys on the shelf of Arctic seas. Problems of the Arctic and Antarctic. 2015. № 1 (103): 57–68. [In Russian].
5. *Kopteva A.V. Prilivo-otlivnye yavleniya morya Laptevykh*. Tidal phenomena of the Laptev sea. *Tr. AANII*. Proc. of AARI. 1954, 69: 207 p. [In Russian].
6. *Voynov V.G. Prilivnye yavleniya v Karskom more*. Tidal phenomena in the Kara sea. Saint-Petersburg: Publishing office of the Russian Geographic Society, 1999: 109 p. [In Russian].
7. *Kornishin K.A., Pavlov V.A., Smirnov V.N., Nyubom A.A., Efimov Ya.O.* Determination of local ice strength using downhole sonde-indenter in the Kara and Laptev seas. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik OAO «NK «Rosneft»*. Scientific and technical bulletin of OAO «NK «Rosneft». 2016, 2: 85–89. [In Russian].
8. *Ledyanye obrasovaniya Zapadnoy Arktiki*. Ice formations of western Arctic. Ed. G.K. Zubakin. Saint-Petersburg: Publishing office of AARI, 2006: 240 p. [In Russian].
9. *Mironov E.U., Porubaev V.S.* Statistical model of the hummock ridge morphometry in the south-west part of the Kara sea. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of Arctic and Antarctic. 2011, № 3 (89): 49–61. [In Russian].
10. *Cherepanov N.V. Klassifikatsiya ldov prirodnykh vodoyomov*. Classification of ice of natural water bodies. *Tr. AANII*. Proc. of AARI. 1976, 331: 77–99. [In Russian].