

САМАЯ СЕВЕРНАЯ ЛЕДОВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ В АРКТИКЕ

Памяти Николая Васильевича Черепанова

Ледовые исследования на научно-исследовательском стационаре (НИС) «Ледовая база «Мыс Баранова»» начались осенью 2013 года с эпизодических измерений толщины льда и установки сейсмических датчиков для изучения динамики ледяного покрова. Весной 2014 года на припайном льду пролива Шокальского был организован ледовый полигон для мониторинга изменений морфометрических параметров ровного припайного льда. Одновременно начались работы по изучению строения льда, измерение его основных физических свойств. Эти работы в какой-то мере возобновили аналогичные исследования, проводившиеся на м. Ватутина и о. Средний арх. Северная Земля в конце XX века. За пять лет работы НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» диапазон ледовых исследований значительно расширился. Выделились несколько направлений.

Для проведения стандартных ледовых наблюдений в соответствии с «Наставлением гидрологическим станциям и постам» был организован наблюдательный пункт. Пункт расположен на обрывистом берегу, высота над уровнем моря 24 м, расчетная дальность видимого горизонта 19,4 км. Основной задачей наблюдений является обеспечение систематической и полной фиксации всех характерных особенностей состояния ледяного покрова на осматриваемой территории. Наблюдения ведутся круглогодично. Для получения информации о ледовой обстановке на скрытых и труднодоступных участках секторов наблюдения используется квадрокоптер с фото- и видеокамерой.

Изучение динамики ледяного покрова. К динамическим явлениям в припайном льду относятся воздействие ветровых волн и зыби, сжатие и торошение, обрушение ледников в море и образование айсбергов, сейсмические волны, техногенные воздействия. Для изучения динамики используются трехкомпонентные низкотемпературные сейсмометры и наклонометры. Приборы устанавливаются как на припайный лед, так и на грунт, на ледники и айсберги.

Исследование морфометрических характеристик и физических свойств припайного морского льда в акватории пролива Шокальского. Ежегодно на ровном участ-

Рис. 1. Ледоисследовательские работы на контрольной точке основного ледового полигона полярной ночью

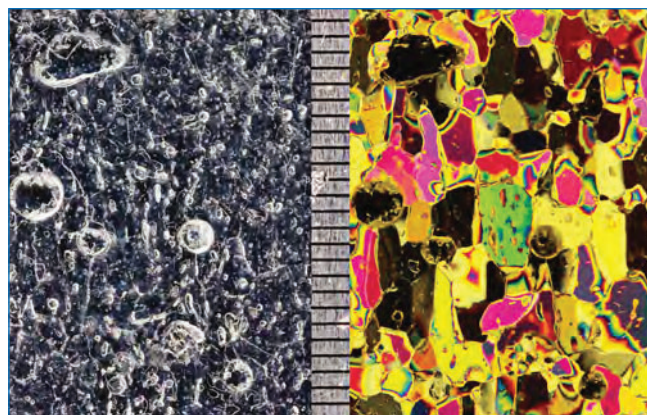


ке ледяного покрова организуется полигон, где проводятся измерения высоты снежного покрова, толщины льда и превышения поверхности льда над поверхностью моря. Одновременно на контрольной точке выполняется серия измерений физических свойств льда (рис. 1). К измерениям температуры и солёности, проводившимся с 2014 года, добавились измерения плотности и предела прочности на изгиб круглых пластин на прессе ПИМ. Обязательно проводится структурно-текстурный анализ льда на всю его толщину. Подобный подход позволяет не только проследить изменение метрических параметров льда и его физических свойств, строго привязанных к его строению, в течение одного сезона ледостава, но и отследить межгодовые колебания этих параметров.

Определение механических свойств льда. Помимо стандартных измерений прочности образцов льда при одноосном сжатии и прочности льда круглых пластин с помощью «Полевой испытательной машины» (ПИМ) на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» внедрена оригинальная технология определения прочностных характеристик льда в натуральных условиях, позволяющая проводить безобразцовые исследования прочности ледяного покрова как по площади, так и по толщине. Эта технология включает в себя измерение прочности в скважинах при помощи зонд-индентора ЛГК 004 с гидроэлектроприводом. Работы проводятся как на основном ледовом полигоне, организованном рядом с полигоном для измерения метрических параметров льда, так и на дополнительных ледовых полигонах и точках, где лед имеет строение, отличное от строения льда на основном ледовом полигоне. Кроме этого, на припайном льду с помощью скважинного зонд-индентора решаются следующие задачи:

- влияние азимутальной анизотропии, обусловленной пространственной упорядоченностью волокнистых кристаллов под влиянием устойчивых подледных течений, на локальную прочность;
- выявление изменчивости структуры льда при внедрении индентора в стенку скважины;
- влияние диаметра индентора на характер разрушения;
- влияние скорости внедрения индентора в лед на прочностные характеристики.

Рис. 2. Пример текстуры (слева) и кристаллического строения (справа) образца льда, сложенного зернистыми кристаллами. В середине масштабная линейка с делением в 1 мм



Отрабатываются методические вопросы использования оборудования в различных климатических условиях.

Исследование пространственной неоднородности строения и физических свойств льда и их изменения во времени. В рамках этого направления проведено изучение льда в проливе Шокальского с фьордами и бухтами, в заливах Ахматова и Микояна. Изучен процесс формирования льда вокруг айсбергов, сидящих на грунте, у берега в местах интенсивного снегонакопления, на границах разводий и у трещин. Все измерения, направленные на изучение физических свойств льда, сопровождались структурно-текстурным анализом (рис. 2).

Строение морского льда описывается с помощью понятий структура (кристаллическое строение льда) и текстура (характеристика различных включений: воздушных, солевых, органических и неорганических). Строение ровного морского льда очень разнообразно и зависит от условий формирования ледяного покрова. В 1976 году в «Трудах АНИИ» Н.В. Черепановым была опубликована «Классификация льдов природных водоемов». На основе этой классификации многообразие различных сочетаний текстуры и структуры льда было сведено для морских льдов к девяти «генетическим типам», с помощью которых стало возможным отразить лед на всю его толщину в виде слоев, относящихся к тому или иному «генетическому типу». Отличительной особенностью всех работ по изучению физических свойств льда и их изменения во времени на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» стала привязка всех полученных данных к типам льда по этой классификации. Измерения, полученные на основном ледовом полигоне, проводимые с дискретностью 10–15 дней, являлись реперными по отношению к измерениям, выполненным в других местах, а привязка слоев реального льда к «генетическим типам» позволяла проводить сравнение полученных данных в рамках этой «типизации». Такой подход в комплексных исследованиях физических свойств льда осуществлялся впервые. Это стало возможным благодаря строительству ледового павильона с холодной лабораторией, где есть возможность поддерживать постоянную отрицательную температуру ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3).

Может показаться странным, что в Арктике для ледовых исследований необходимо помещение с отрицательными температурами. Ведь там и так холодно большую часть года. Сами ледовые работы можно разделить на те, что проводятся непосредственно на льду, и те, что необходимо выполнять в стационарных условиях, в ледовых лабораториях. Еще до конца 60-х годов прошлого века для изучения морского льда в основном использовались блоки, выпиленные во льду и поднятые

Рис. 3. Ледоисследовательский павильон в 2018 году



на поверхность, на сленге ледоисследователей — «кабаны». Трудоемкая работа с «кабанами» занимала много времени и сил. С появлением кольцевого бура «ПИ-8» (рис. 4) разработки Н.В. Черепанова упростился отбор проб льда, что позволило перейти от точечных исследований физических свойств льда к площадным съемкам.

Именно тогда стало хорошо видно, что лед по своему строению меняется в зависимости от изменений процесса формирования ледяного покрова. Появилась необходимость всестороннего изучения строения льда и развития методики структурно-текстурного анализа. Методика изучения строения морского льда, состоящая из изготовления вертикальных и горизонтальных пластин толщиной около 2 см, а также тонких пластин толщиной меньше 1 мм и их просвечивания в поляризационном свете для выявления кристаллического строения льда, мало изменилась до сегодняшнего дня. Сейчас отбор проб льда осуществляется с помощью механических керноотборников, что позволяет значительно увеличить количество кернов для дальнейшего анализа. Поскольку подготовка образцов льда к текстурно-структурному анализу требует специальных условий, оборудования и времени для анализа, возникает необходимость в специальном помещении с отрицательными температурами для хранения и обработки отобранных проб (рис. 5). Весной, со второй половины мая, на архипелаге Северная Земля температуры воздуха начинают приближаться к положительным значениям. Именно этим сроком и ограничивается возможность работы со льдом в лаборатории без холодильной установки, в то время как припайный лед сохраняется до августа, а в отдельных случаях остается на следующий год. В результате процессы интенсивных изменений во льду, связанные с термометаморфизмом в весенне-летний период, которые находят отражение в изменении текстуры

Рис. 4. Бурение льда кольцевым буром Черепанова



льда и его физических свойств, остаются без структурного анализа. Строительство «холодной» ледовой лаборатории с морозильной установкой в конце 2015 года на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» дало возможность сделать работы по структурно-текстурному анализу круглогодичными, что, в свою очередь, позволило провести привязку физических свойств льда к его строению независимо от сроков работ.

Николай Васильевич Черепанов, руководитель Лаборатории физического моделирования ОФЛиО ААНИИ, базировавшейся на станции «Ладожское озеро» под Ленинградом, неоднократно выражал желание создать круглогодичную ледовую лабораторию в Арктике. На ее базе он планировал не только выполнять работы по структурно-текстурному анализу, но и проводить опыты со льдом, изучая его физические свойства при различных температурных режимах или условиях ледообразования. Попытки создать ледоисследовательский полигон с ледовой лабораторией предпринимались на мысе Ватутина, на мысе Локоть и на острове Средний архипелага Северная Земля, но все они не использовали помещения с холодильной установкой. Создание лаборатории на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» не только продолжает традиции ледоисследовательских работ на Северной Земле, но и выводит их на новый уровень, позволяя соотносить физические свойства с «генетическими типами» льда в круглогодичном режиме.

Сам ледовый павильон состоит из нескольких помещений. Центральная часть занята большим залом с широким проходом на улицу для крупногабаритного оборудования. В этом помещении монтируется на сани гидростанция и другие агрегаты для определения локальной прочности льда, стоят станки для распиловки ледовых кернов и прессы для механических испытаний образцов льда. На специальных стеллажах расположены шнеки для буров, кольцевые «буры Черепанова», пешни, очистители скважин и другое ледоисследовательское оборудование (рис. 6).

С одной стороны от центрального зала расположена холодная ледовая лаборатория с холодильной установкой, поддерживающая отрицательные температуры -17°C в помещении, где происходит хранение и разделка кернов, подготовка образцов льда к структурно-текстурному анализу и проводится фотосъемка текстуры и структуры льда. С другой стороны зала вход в теплые помещения. В этих помещениях осуществляется подготовка оборудования к работам на льду, обогрев и ремонт принесенных со льда различных агрегатов, электростанций, прессов и др. Выделено место для плавления образцов льда и измерения электропроводности талой воды. В 2017 году в павильоне

Рис. 5. Изучение текстуры льда в «холодной» ледовой лаборатории



были установлены компьютеры для приема и обработки данных с сейсмических датчиков. Оборудовано место для отдыха сотрудника во время круглосуточных наблюдений. На сегодняшний день ледовый павильон является местом организации различных ледовых наблюдений, подготовкой для этих целей оборудования, складирования и обработки образцов льда. Уже сейчас ясно, что при таком стремительном развитии ледовых исследований, какое наблюдалось в последние три года, увеличении объемов обрабатываемого льда и обеспечивающего ледовые исследования оборудования площади ледового павильона становится недостаточно. Пока не хватает специального оборудования для распиловки льда, изготовления шлифов, не хватает профессиональной фотолaborатории, способной функционировать в условиях низких температур. Но с каждым годом состояние дел в этой области заметно улучшается, что способствует развитию дальнейших работ.

Для современных экспедиций, направленных на изучение физических свойств льда, наличие специальной ледовой лаборатории с помещением, оборудованным холодильной установкой для поддержания отрицательной температуры, со специализированным оборудованием, сотрудниками, обладающими навыками ледоисследовательских работ, в том числе и текстурно-структурного анализа, является показателем глубины исследований. Это относится не только к стационарам, расположенным на берегу, но и к судовым экспедициям. На НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» такая лаборатория уже есть, и она полностью выполняет свое назначение, позволяя планировать ледоисследовательские работы на самом высоком уровне.

*В.А. Бородин, В.Т. Соколов, С.М. Ковалев,
И.А. Кушеверский (ААНИИ).
Фото В.А. Бородина.*

Рис. 6. Монтирование комплекса зонд-индентора на сани в центральном зале ледового павильона

