

## ЭКСПЕДИЦИЯ MOSAIC — НАЧАЛО

### Введение

Международная круглогодичная экспедиция MOSAiC (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate — многопрофильная дрейфующая обсерватория по изучению изменений климата) проводится в Центральной Арктике в течение 2019–2020 годов. Это крупнейшая международная арктическая научная экспедиция в истории. В ней принимают участие более 600 человек из 17 стран. Общее руководство осуществляется немецким институтом им. Альфреда Вегенера — Центром морских и полярных исследований Гельмгольца (АВИ). Основная цель дрейфующей обсерватории — исследование климатических процессов в Центральной Арктике для уточнения глобальных моделей климата и климатических прогнозов.

Главное экспедиционное судно — ледокол «Поларштерн», принадлежащий АВИ, на котором осуществляется годичный дрейф через Центральную Арктику. В течение года его снабжение осуществляют несколько российских судов: «Академик Федоров», «Капитан Драницын» и «Академик Трёшников».

Подготовительный этап начался 21 сентября 2019 года с отбытия «Поларштерна» и сопровождающего его «Академика Федорова» из Тромсё. Он включал в себя переход в Центральную Арктику, поиск подходящих для работ льдин, ледовую разведку, установку основного ледо-

вого лагеря MOSAiC и вспомогательных ледовых станций и доставку сотрудников экспедиции. 16 октября официально начался первый этап экспедиции MOSAiC, который продолжался до 15 декабря.

В начале первого этапа координаты основной станции «MOSAIC Central Observatory» были  $85^{\circ}10'$  с.ш. и  $132^{\circ}77'$  в.д., а на конец первого этапа, вечер 15 декабря —  $86^{\circ}36'$  с.ш. и  $117^{\circ}33'$  в.д.

### Лагерь на льду

Для работ на льду вокруг «Поларштерна» был разбит ледовый лагерь, включающий стоянку снегоходов с санями, участки льда, выделенные под определенные работы, палатки и различные сенсоры, соединенные кабелями электропитания с судном. Общая схема ледового лагеря показана на рисунке.

Для работ на льду экспедиция имела пять научных команд: метеорологическую, ледовую, экологическую, биогеохимическую и океанологическую. Также имелась команда логистики и команда медиа для сопровождения научных команд. Для работ каждой команде были выделены отдельные участки.

### Работа ледовой группы

Ледовая группа, в состав которой входили два сотрудника ААНИИ, проводила работы по исследованию физических и физико-механических свойств снега

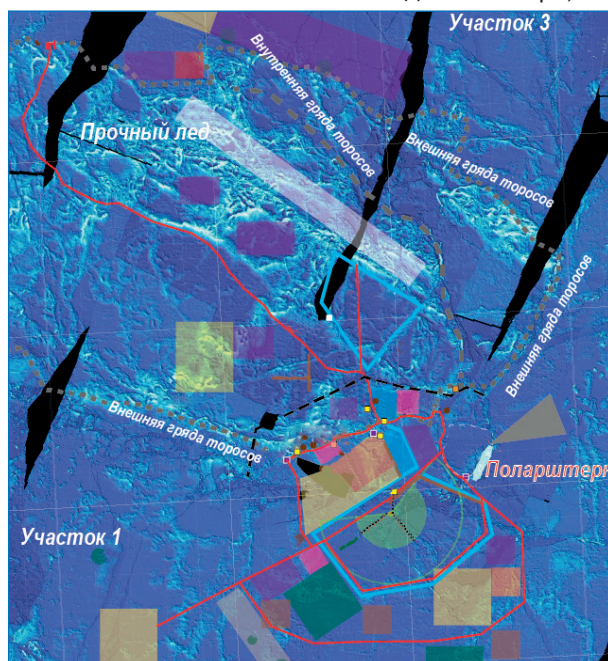


Схема ледового лагеря станции «MOSAIC Central Observatory» от крупномасштабных подвижек льда

и льда. Работы включали в себя отбор проб снега и льда на физические свойства, толщиномерные съемки ледя-

Отбор кернов

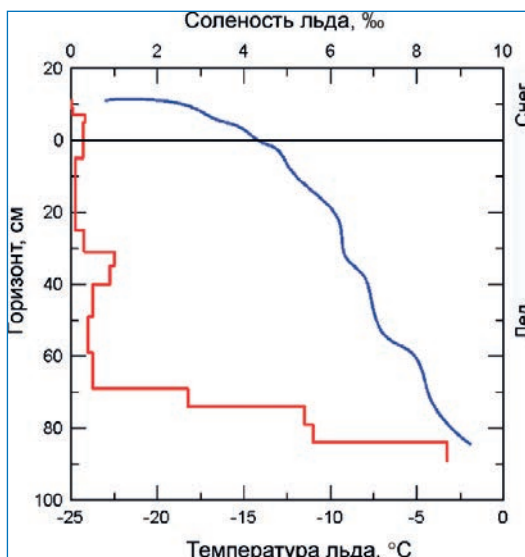


ного покрова контактным и бесконтактным способом, наблюдение за состоянием ледяного покрова с помощью установленных сенсоров, крупномасштабные съемки поверхности льда с вертолета, измерение прочностных характеристик льда, а также исследование динамики льда с помощью специальных датчиков.

Отбор ледяных кернов был одной из самых крупномасштабных работ. Для отбора проб льда в 1,5 км от судна были выделены участки однолетнего и двухлетнего ровного льда. Работы на обоих участках проводились каждый понедельник двумя группами (одна на однолетнем льду, другая на двухлетнем) по пять человек в каждой плюс по одному егерю для каждой группы. В работах принимали участие члены ледовой, экологической и биогеохимической команд. Проводились отборы кернов для измерения вертикальных профилей температуры, солености и плотности льда и снега и для текстурно-структурного анализа. Также отбирались керны для работ экологов и биогеохимиков (анализ на содержание метана, бериллия, брома, оксидов азота, галогенокарбонидов, органических веществ, минеральных осадков и др.).

Работы по отбору кернов начинались с раннего утра и продолжались 5–6 часов. Выезд на участки проходил в 8:00. По прибытии на место готовилось оборудование и разворачивалась палатка, в которой проводилась распиловка отобранных кернов. На месте работы предварительно проводились измерения толщины снега, температуры и плотности снега по слоям и отбор проб на соленость.

После этого выполнялись основные работы. Для отбора использовались керноотборники KOVACS. Керны сразу же переносились в палатку, где проводилась их дальнейшая обработка. Для каждого керна указывалась его длина, а при наличии разломов — уровни, на которых они расположены. Измерения температуры льда проводились на месте. Для анализа остальных свойств керны распиливались на отдельные образцы, которые упаковывались в специальные емкости и доставлялись



Температура (синяя линия) и соленость (красная линия) снега и двухлетнего льда 11 ноября 2019 года

на судно для их дальнейшего исследования. По окончании работ место отбора кернов засыпалось снегом и помечалось сигнальными флажками.

Для мониторинга динамики ледяного покрова членами ледовой команды из ААНИИ на льду были установлены три автономные сейсмические станции. Каждая станция включает в себя сейсмометр СМЕ 4311, наклонмер ИН-ДЗ-360, автономный регистратор «Байкал-8» для записи данных от датчиков, антенну GPS, антенну для передачи данных на базу и аккумулятор для питания станции. Вначале станции были установлены примерно в одном месте, в 150 м от судна, затем их переустановили в виде треугольника на расстоянии 30 м друг от друга,

а в дальнейшем две станции переставили на расстояние 800 м от третьей.

Данные с автономных сейсмических станций по радиоканалу передавались на регистратор и стационарный компьютер, установленный на судне. Это давало возможность проводить мониторинг динамики ледяного покрова в режиме реального времени. При работе комплекса осуществлялся непрерывный визуальный контроль регистрируемых сигналов. В ходе наблюдений с конца октября 2019 года регулярно фиксируются волновые события, образование новых трещин, сжатия и торошения.

Прочность льда является важнейшей характеристикой при оценке ледовых нагрузок на инженерные сооружения, а также несущей способности ледяного покрова при грузовых операциях. В экспедиции MOSAiC проводились три вида прочностных испытаний льда: измерение локальной прочности льда, измерение прочности льда на одноосное сжатие и измерение прочности ледяных пластин на центральный изгиб.

Для испытания локальной прочности льда использовался специальный комплекс гидравлического оборудования ЛГК, включающий в себя гидростанцию, мультипликатор, измерительный блок и скважинный зонд-индентор. Зонд-индентор на лебедке погружался в специально выбуренную во льду скважину. Мультипли-

Измерение локальной прочности льда







Измерение прочности льда на одноосное сжатие

катор увеличивал давление, создаваемое гидростанцией в зонд-инденторе, за счет чего поршень зонда выдвигался и внедрялся в лед. Во время внедрения фиксировалось перемещение индентора и давление в гидросистеме, по которому вычислялась локальная прочность льда. Данные измерения проводятся на разных горизонтах ледяного покрова.

Для испытания прочности льда на одноосное сжатие использовался тот же комплекс ЛГК, но с переносным прессом вместо зонд-индентора. Из ледяной поверхности с помощью керноотборника KOVACS выбуривались керны в вертикальном и горизонтальном направлении. Керны в горизонтальном направлении выбуривались из извлеченного на поверхность ледяного блока. Затем керны распиливались на цилиндрические образцы высотой 29–30 см, после чего испытывались в прессе.

### Шторм в середине ноября 2019 года, раскол льдины

Обстановка на льду была нестабильной. Еще в начале экспедиции рядом с «Поларштерном» прошла трещина, через которую необходимо было перебираться. С левой стороны судна тоже регулярно проходили новые трещины, лед был сильно восторошен, так что работ там велось очень мало.

16 и 17 ноября был сильный шторм, в ходе которого произошло несколько крупномасштабных разломов. Во второй половине суток 16 ноября скорость ветра превышала 20 м/с, образовалось несколько больших трещин. 17 ноября трещины разошлись и льдина распалась на несколько кусков. В дальнейшем куски льдины вновь сошлись, но обстановка оставалась нестабильной. Начались подвижки льда, продолжавшиеся несколько недель.

В ходе этих подвижек часть льдины с юго-западной стороны от «Поларштерна» (со стороны носа судна) сместилась на несколько сотен метров на юго-восток, что привело к необходимости перестановки ледового лагеря. Были переустановлены некоторые станции, заново проведена линия электропередач, помечены новые пути.

### Заключение

На первом этапе экспедиции был развернут ледовый лагерь, начаты научные наблюдения. Сотрудниками ААНИИ получены первые данные о физических и механических свойствах окружающего ледяного покрова, начат мониторинг его динамики. Получены уникальные данные процессов трещинообразования и торошения в середине ноября. Ценность полученных данных заключается еще и в том, что процессы, регистрируемые приборами, можно было наблюдать визуально. Из-за прошедших через ледовый лагерь трещин, его пришлось перенести на новое место.

Все возникшие трудности удалось успешно преодолеть. Научный состав экспедиции и экипаж судна «Поларштерн» работают слаженно и организованно, с готовностью помогая друг другу. Экспедиция MOSAiC продолжается. Дальнейший ход работ будет изложен в следующих публикациях.

*Н.В. Колабутин,  
Е.В. Шиманчук (ААНИИ).  
Фото Марка Огье  
и Яри Хаапалы*

Динамика ледяного покрова 15–17 ноября 2019 года

