

ФГУП ГТ «Арктикуголь» природоохранными мероприятиями, включающими реконструкцию ТЭЦ и ликвидацию ряда свалок.

В районе пос. Пирамида специалисты ААНИИ ежегодно проводят наблюдения за динамикой ледника Норденшельда и образованием в этом районе айсбергов, с непрерывной регистрацией упругих колебаний скального грунта и поверхности ледника с помощью методов сейсмометрии.

С 2016 года также проводится регистрация физико-механических параметров ледника с привлечением измерительного комплекса с дистанционной передачей сигналов на базу экспедиции в пос. Пирамида на расстояние до 15 км. С помощью сейсмометра на берегу зафиксированы процессы, связанные с падением блоков льда в акваторию фьорда.

Анализ данных показал, что разломные зоны ледника непрерывно подвергаются внешним и внутренним воздействиям полей гравитационных напряжений и динамических нагрузок в результате земных приливов. Воздействие приливообразующей силы на ледник более эффективно, чем на земную поверхность. Приливные явления в леднике обусловлены не морскими приливами, а являются реакцией массы льда на приливообразующую силу системы «Луна — Земля — Солнце». Инструментальный мониторинг колебательных и волновых процессов в массиве ледника выявил механические процессы взаимодействия льда не только со скальными породами, но и отдельных блоков ледника между собой. На основе этих данных разрабатывается методическое пособие

«Инструментальный круглогодичный мониторинг состояния ледников и зарождения айсбергов от выводных ледников в Арктике».

Палеогеографические исследования ААНИИ сосредоточены на голоценовой истории Западного Шпицбергена, изучении донных отложений озер и морских террас, восстановлении положения уровня моря в этот период и механизмов изменения климата и природной среды архипелага. Климатические условия на архипелаге были наиболее теплыми (теплее современных) с 11 тыс. л.н. до 7 тыс. л.н. В дальнейшем климат района был относительно холодным, за исключением периода 4,0–2,0 тыс. л.н. и, безусловно, заметного потепления в последние десятилетия.

В целом можно отметить, что роль специалистов Росгидромета в комплексном изучении природной среды архипелага Шпицберген ежегодно возрастает, растет и количество новых видов научных исследований, для выполнения которых используется самое современное оборудование. Многие результаты исследований получены непосредственно в Баренцбурге благодаря вводу в эксплуатацию современной химико-аналитической лаборатории. Создание РНЦШ и РАЭ-Ш способствует расширению межведомственного и международного сотрудничества.

*Л.М. Саватюгин, Ю.В. Угрюмов (ААНИИ).  
Фото из архива РАЭ-Ш*

## **ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГЛУБИНЫ СОВРЕМЕННОГО ЛЕДОВОГО ВЫПАХИВАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Изучение деформаций дна, связанных с воздействием на донных осадках, стамух и айсбергов, имеет большое значение для снижения риска аварийной ситуации и повышения надежности эксплуатации подводных сооружений. Наиболее распространенный метод, обеспечивающий целостность и устойчивость морских объектов, размещаемых на дне, — заглупление их в грунтовую толщу. Глубина экзарации дна ледяными образованиями — важнейший параметр, который необходимо обязательно учитывать при строительстве подводных добычных комплексов, трубопроводов и прокладке кабелей. В соответствии с нормативами морские сооружения должны заглупляться ниже экстремальной глубины выпахивания. Наиболее актуален вопрос, касающийся оценки опасности экзарации, для айсбергоопасных акваторий. К таковым в пределах западного сектора Российской Арктики относятся Баренцево и Карское моря. В Баренцевом море источниками айсбергов являются выводные ледники и ледниковые купола, расположенные на архипелагах Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), Шпицберген, Новая Земля (о. Северный).

Решение задач о необходимости заглупления и оценки максимально возможной глубины пропахивания донного грунта плавающим материковым льдом тесно связано с проблемой определения максимальной осадки айсбергов.

Обобщение инструментальных данных (эхолотирование, георадарная съемка), расчетов и визуальных наблюдений, выполненных ААНИИ, показало, что максимальная осадка айсбергов в Баренцевом море может достигать 137 м, высота — 45 м. Наибольшую опасность формирования крупных айсбергов (толщиной до 150–200 м и протяженностью более 1–2 км) представляет арх. ЗФИ. Здесь, в частности, зафиксирован айсберг на мели, осадка которого составила 180 м.

Приведенные выше цифры, характеризующие морфометрию современных айсбергов Баренцева моря и величину их осадки, в целом не противоречат, как будет показано ниже, полученным нами данным.

Одной из первых публикаций с описанием отрицательных линейных форм рельефа дна — борозд ледовой экзарации — в Баренцевом море была небольшая заметка известного норвежского морского геолога А. Солхейма (A. Solheim). В этой работе было обращено внимание на то, что борозды ледового выпахивания (плугмарки) обнаружены на различных глубинах, вплоть до изобат 450 м. В то же время максимальная осадка килей айсбергов в регионе исследований (норвежский сектор Баренцева моря) лишь в редких случаях достигала 100 м. Сопоставляя указанные цифры, А. Солхейм сделал вывод, что большинство плугмарок являются реликтовыми и образовались в течение деградации ледников последней (вейхельской) стадии оледенения плейстоценовой эпохи (следует отметить, что уровень моря тогда был не менее чем на 100 м ниже, чем в настоящее время). Отмечается, что источником наиболее крупных айсбергов, встречающихся на акватории Баренцева моря, являются ледники ЗФИ. По мнению А. Солхейма, ледники архипелага могли продуцировать айсберги с осадкой до 120–130 м. Современное выпахивание, по мнению автора рассматриваемой работы, может достичь глубины 120–130 м, как можно судить по изобатам, где были обнаружены плугмарки. Таким образом, на сегодня считается, что глубину 120–130 м можно ориентировочно считать максимальной для современного экзарационного воздействия. В этой связи считается, что к реликтовым плугмаркам сле-

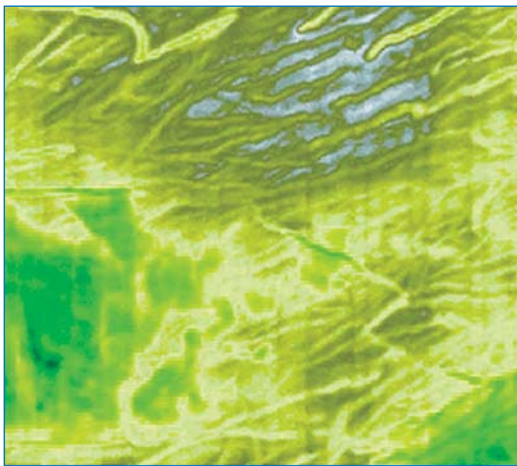


Рис. 1. Цифровая модель рельефа дна моря (построена по результатам обработки многолучевого эхолотирования). Глубина моря 323–337 м

дует относить те из них, которые в настоящее время находятся на глубинах, превышающих указанную цифру.

В российском секторе Баренцева моря реликтовые пflugмарки с использованием многолучевого эхолота "Simrad EM-100" (Норвегия) впервые были обнаружены специалистами ОАО «АМИГЭ» в ходе инженерно-геологических изысканий на акватории Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ) в 2003 году. На цветных растровых моделях рельефа дна, построенных по данным многолучевого эхолотирования (МЛЭ), достаточно четко обозначились линейные протяженные формы рельефа (рис. 1). Было сделано предположение об их экзарационном древнем происхождении.

Доминирующим их простираением является северо-восточное. Размеры борозд составляют в длину от нескольких сотен метров до 1,5 км при средней ширине 70–100 м и глубине выпахивания 2–3 м. Последовательность сложных пересечений борозд друг с другом отражает их гетерохронное (разновозрастное) образование.

Наличие борозд на площади ШГКМ визуальное было подтверждено водолазами, спускавшимися на дно при установке и обслуживании донных превенторов поисково-разведочных скважин.

Изучение борозд выпахивания на площади ШГКМ и в коридоре трассы трубопровода ШГКМ — губа Опасова на площади ШГКМ было продолжено ООО «Питер Газ», ОАО «АМИГЭ» в 2005–2009 годах. В ходе изысканий в центральной части Баренцева моря (ШГКМ) и в коридоре трассы трубопровода от ШГКМ до береговой зоны Кольского полуострова были получены новые данные об этих своеобразных формах рельефа гляциальных шельфов. Результаты сонарной съемки, МЛЭ указывают на активное динамическое воздействие ледовых образований на донную поверхность Южно-Баренцевской впадины, имевшее место в прошлом.

Выявлены многочисленные прямолинейные, спиралеобразные, зигзагообразные, дугообразные, пересекающиеся друг с другом (разновозрастные), строго параллельные (образованные «многокилевыми» ледовыми образованиями) борозды. В ряде мест наблюдаются глубокие следы (изометричные впадины) айсбергов, севших на мель. Имеются редкие борозды с V-образным сечением и участки, на которых развиты борозды с поперечным сечением U-образной формы (рис. 2). По краям борозд, как правило, расположены небольшие валики высотой в среднем до 1 м. Борозды выпахивания встречаются практически на всем протяжении трассы трубопровода и на площади ШГКМ вплоть до глубин 340–360 м. Как правило, они имеют U-образную форму и следующие морфометрические характеристики: длина 3,5–6 км, ширина

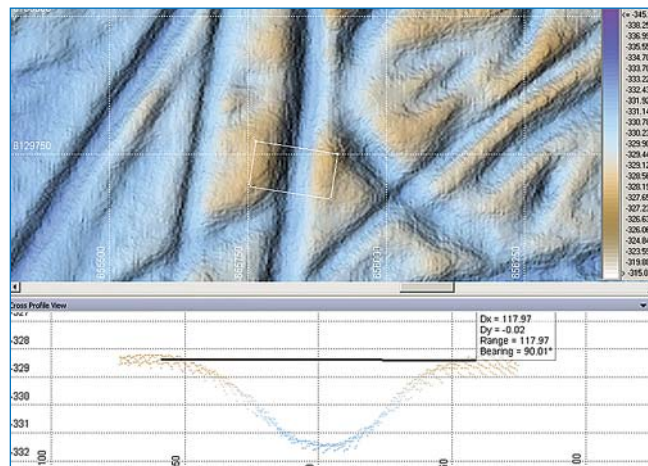


Рис. 2. Пример реликтовой борозды U-образной формы, шириной 125 м и глубиной 3,5 м

30–300 м, глубина 1–16 м. Генеральное направление дрейфа древних айсбергов, создавших эти микроформы, судя по ориентировке борозд ЮЗ — СВ ( $34^{\circ}$ – $60^{\circ}$ ).

Второй район, где борозды являются главным рельефообразующим элементом, — вершинная часть Мурманской банки (глубина моря 121–195 м). Здесь, как правило, они ориентированы в направлении ЮВ — СЗ. Ширина борозд изменяется от 30 до 240 м, глубина от 0,5 до 15 м, форма поперечного сечения борозд — U-образная. Реже наблюдаются крупные борозды с V-образным сечением шириной 60–225 м и глубиной 1–15 м. Преобладающие же размеры этого типа борозд в районе исследований — ширина 40–120 м, глубина 1–10 м. На бортах борозд отложения практически отсутствуют, в то время как в тальвеге мощность осадков (илы глинистые текучие, глины и суглинки текучие и текучепластичные) составляет 0,5–6 м.

Наиболее интересные данные, касающиеся проблем определения границ района распространения современной экзарации и оценки ее величины, были получены в 2016 году ООО «Деко-проект». Исследования выполнялись с применением многолучевого эхолота Reson SeaBat T20-P в северо-восточной части шельфа Баренцева моря (ледовые районы: ЗФИ, Карский и Новоземельский). Здесь, как показали исследования айсбергов ААНИИ, в сентябре наблюдается наибольшее количество айсбергов.

Результаты МЛЭ указывают на активное динамическое воздействие айсбергов на рельеф дна (разновозрастные пflugмарки, места посадки ледовых образований на мель и др.). В пределах Альбановского участка (рис. 3) на большей части дна моря прослеживается густая сеть экзарационных борозд. Они имеют генеральное простираение с СЗ на ЮВ. Повышенная их концентрация прослеживается на крупных положительных формах рельефа (глубины от 70 до 200 м). Форма поперечного сечения борозд U-образная, ширина варьирует от 10 м до 60 м, глубина — от 2 м до 15 м. По краям борозд, как правило, расположены небольшие валики высотой в среднем до 1 м. В пределах Варнекского участка (рис. 4) форма поперечного сечения борозд разнообразная — от V-образной до U-образной, средняя ширина их варьирует от 10 м до 100 м, глубина — от 2 м до 10 м. Анализ морфометрии пflugмарок показывает, что уверенно можно выделить по крайней мере две их возрастные генерации: современные и реликтовые. В зависимости от возраста пflugмаркам свойствен различный морфологический облик, выделяются современные «свежие», с V-образным сечением, четкими границами, с хорошо сохранившимися бортовыми валиками, и борозды «древние», реликтовые, с U-образным сечением, сглаженными очертаниями,

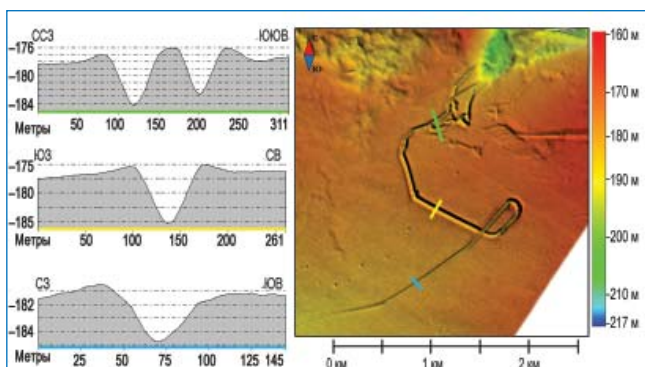


Рис. 3. Цифровая модель рельефа с современными бороздами в пределах Альбановского участка (77° с.ш., 55° в.д.). Глубина моря 178 м. Параметры борозды: ширина – 28–54 м, глубина – 4–6 м

полностью или частично заполненные современными осадками. Реликтовые борозды ледового выпахивания отличаются от современных ледовых борозд также большими размерами.

Анализ материалов многолучевой съемки донного рельефа изученных районов показал, что на фоне многочисленных реликтовых плугмарок, местами, при глубинах моря 110–180 м, прослеживаются и современные борозды (рис. 3 и 4).

Выполненные исследования морфометрических особенностей борозд ледового выпахивания, анализ литературных и фондовых материалов показали, что в северо-восточных районах Баренцева моря, прилегающих к арктическим архипела-

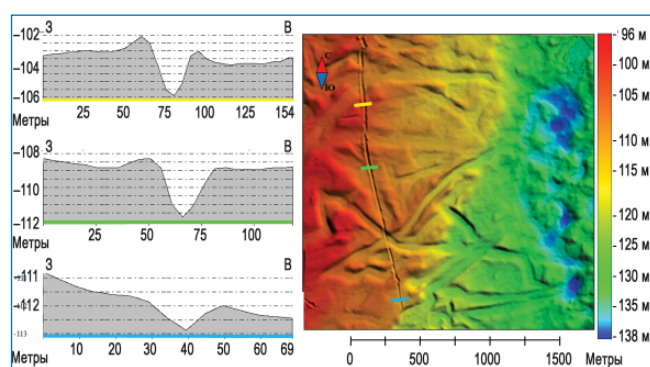


Рис. 4. Цифровая модель рельефа с современными бороздами в пределах Варнекского участка (78° с.ш., 64° в.д.). Глубина моря 108 м. Параметры борозды: ширина – 23 м, глубина – 1,0–2,5 м

гам, предельная глубина моря, где возможна экзарация дна айсбергами, составляет приблизительно 180 м. Данный предварительный вывод, важный с точки зрения необходимости защиты морских сооружений от механических повреждений, требует дополнительных исследований.

*С.Г. Миронюк, А.А. Иванова  
(ООО «Центр морских исследований  
МГУ им. М. В. Ломоносова», Москва),  
А.А. Колюбакин  
(ООО «Арктический научный центр», Москва)*

## НА ЗЕМЛЕ, В ВОДЕ И ВОЗДУХЕ

### В ЯМАЛО-НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ СЕДЬМОЙ РАЗ БУДЕТ ОРГАНИЗОВАНА КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ «ЯМАЛ-АРКТИКА»

Исследованиями ямальских ученых, представляющих Научный центр изучения Арктики, и их коллегами из Российской академии наук, других организаций охвачен широкий спектр вопросов, начиная от сейсмологического мониторинга и заканчивая состоянием популяций редких видов животных и птиц.

#### Невечная мерзлота

Полевой сезон 2017 года первым открыл департамент по науке и инновациям ЯНАО. Совместно с Единой геофизической службой РАН в апреле на Ямале была создана сейсмологическая мониторинговая сеть. Три датчика специалисты установили в важнейших промышленных районах полуострова: на Южно-Тамбейском месторождении в поселке Сабетта, где находится завод «Ямал СПГ», Бованенковском и Харасавэйском месторождениях. Датчики регистрируют колебания земли и передают информацию по каналам мобильной связи в Салехард и Обнинск.

Первое же сейсмическое событие не прошло мимо ученых. В конце июня два датчика в районе Сабетты и Бованенково уловили активность в Сеяхинской тундре, где произошел выброс газа из недр земли. Правительство региона и некоммерческое партнерство «Российский центр освоения Арктики» оперативно снарядили экспедицию, благодаря чему удалось собрать ценный материал — пробы грунта, растительности и воды, так как новая воронка образовалась в пойме реки Мюдрияхи.

На сегодня ученые, представляющие различные институты Российской академии наук, в фундаментальных исследованиях воронок газового выброса продвинулись вперед. Теперь важно создать систему раннего прогнозирования этих опасных природных явлений. С этой целью в декабре 2017 года к самой южной из известных воронок газового выброса, расположенной в районе реки Еркуты, была организована еще одна

экспедиция с участием представителей департамента по науке и инновациям ЯНАО, Научного центра изучения Арктики, Сколковского института науки и технологий, а также общества молодых мерзлотоведов. Специалисты снова собрали пробы воды и пластов льда и договорились о создании научной программы с привлечением потенциала академической и отраслевой науки, чтобы перейти от фундаментальных исследований в прикладную плоскость.

В полевой сезон Институтом криосферы Земли СО РАН были продолжены наблюдения за многолетнемерзлыми грунтами, не прекращающиеся на полуострове Ямал два десятка лет. Термоцирки, туннели и каналы, образующиеся вследствие глобальных климатических изменений, и другие криогенные процессы продолжают менять ландшафт тундры.

На полуострове Гыдан продолжена работа по восстановлению законсервированного в начале 1990-х стационара «Парисенто». В летний период ученые Научного центра изучения Арктики и географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова пробурили шесть термометрических скважин, куда установили логгеры для мониторинга температур на глубине до 3,5 м. Информация с них будет получена в следующей экспедиции в 2018 году. Измерение глубины протаивания сезонного слоя (СТС) на площадке CALM показало, что на начало августа 2017 года в сравнении с аналогичным периодом 2016-го СТС стал меньше более чем на 15 см.