

## ЗИМНИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АКВАТОРИИ ЮЖНО-КИРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В 2016 ГОДУ

С 23 марта по 4 апреля 2016 года ФГБУ «ГОИН» выполняло комплексные научно-исследовательские работы по договору с ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Руководителем работ по договору был назначен заместитель директора ГОИН, руководитель институтского центра прикладных морских и водохозяйственных исследований и изысканий, канд. геогр. наук А.С. Цвездинский, а автор этой статьи был приглашен возглавить экспедицию.

Тема договора звучала так: «Осуществить подготовку и проведение в 2016 году зимних экспедиционных исследований с борта ледокольного судна в период максимального развития ледяного покрова на акватории Южно-Киринского месторождения (ЮКМ). Выполнить первичный сбор данных, идентификацию особенностей ледового режима». Поскольку максимальное развитие ледяного покрова в заданном районе достигается в марте-апреле, то на подготовку экспедиции после заключения договора оставалось не более 2,5 месяцев. По счастью, несмотря на столь короткий срок, подготовка экспедиции была проведена на таком уровне, который создал все предпосылки для ее успешного проведения. Решающую помощь ГОИНу в логистической части подготовки экспедиции оказали НКО «Полярный Фонд» и АО «Совмортранс», эффективное взаимодействие с которыми осуществлял директор ФГБУ «ГОИН», канд. физ.-мат. наук Ю.Ф. Сычев.

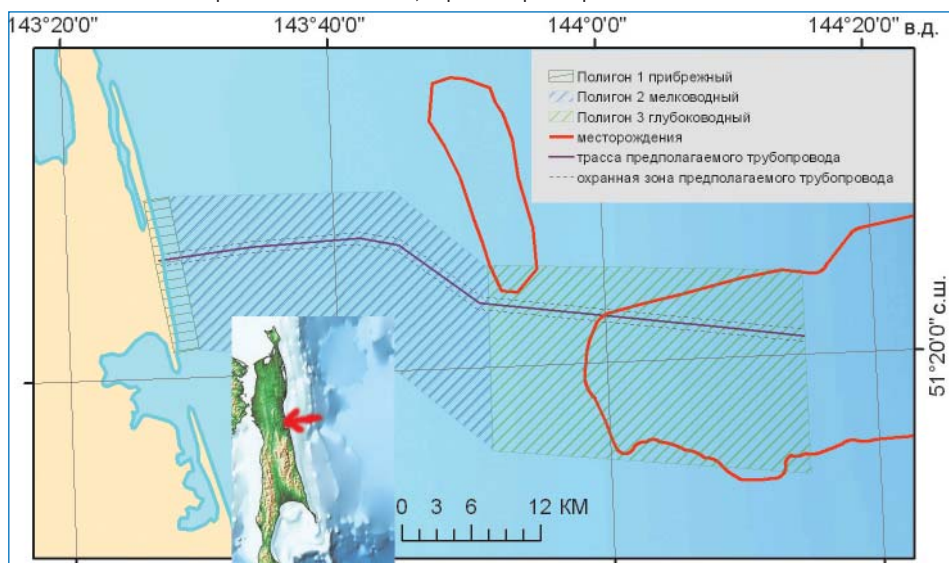
В результате экспедиционных исследований надо было получить информацию для моделирования и корректного определения режимных и экстремальных характеристик ледовых и гидрометеорологических процессов, необходимых для определения расчетных нагрузок на проектируемые объекты и сооружения. Сильно упрощая, экспедиционные исследования сводились к измерениям множества параметров так называемых ледяных образований (ЛО), в качестве которых рассматривались наиболее массивные, толстые, обширные льдины и торосы с геометрическими размерами, определен-

ными ВНИИГАЗом. Также в состав экспедиционных исследований входило определение характеристик льда и особенностей его дрейфа на обширных акваториях, имеющих размеры в несколько сотен километров.

Планируемый район работ располагался на северо-восточном шельфе о. Сахалин и включал в себя глубоководный полигон, расположенный в районе ЮКМ, мелководный полигон, который охватывает предполагаемую трассу трубопровода, и прибрежный полигон, расположенный в районе предполагаемого выхода трубопровода на берег. На деле же район исследований на морских полигонах пришлось существенно расширить на север в связи со сложившейся в апреле 2016 года ледовой обстановкой. Специфика обстановки заключалась в том, что с 29 марта по 2 апреля 2016 года в районе действовали устойчивые по направлению южные и юго-восточные ветра. В результате их действия все ЛО, наибольших для восточного шельфа о. Сахалин горизонтальных размеров и толщины, временно сместились к северу относительно намеченных полигонов. После возвращения ветров, по окончании экспедиции, к характерным для этого района северным румбам и восстановления обычного для этого района генерального направления дрейфа с севера на юг все обследованные ЛО пересекли в своем дрейфе заданные изначально полигоны.

Исследования проводились группами специалистов, оснащенных комплектами измерительной аппаратуры, с помощью высадок на ЛО, а также с бортов судна и вертолета, с помощью квадрокоптера, а также с использованием данных специализированных космических спутников. Во время работ на прибрежном полигоне средствами доставки членов экспедиции и оборудования к объектам исследований служили — автомобиль повышенной проходимости, гусеничный вездеход и два снегохода, а на морских полигонах — судно и вертолет. В экспедиционных работах непосредственно участвовали 23 исследователя (ученых и специалистов ГОИН),

Положение запланированных полигонов для работ зимней экспедиции ФГБУ «ГОИН» в 2016 году. На врезке показан о. Сахалин, а красной стрелкой расположение полигонов.



два механика-водителя сахалинской компании ООО «Спецавтотранспорт», 19 человек экипажа многофункционального аварийно-спасательного судна 5-го ледового класса «Спасатель Кавдейкин» (ФГБУ «Морспасслужба Росморречфлота», г. Москва) и четыре члена экипажа вертолета Ми-8Т (ООО Авиакомпания «Вертикаль-Т», г. Тверь).

Работы вертолета включали в себя 15 вылетов в течение 20 календарных суток с общей продолжительностью полетов 70,4 часа. Помимо визуальных ледовых наблюдений с вертолета с записью в журнал, было выполнено 8,2 часа аэрофото съемки ледяного покрова. С помощью вертолета было установлено 17 буев — ледовых марке-



Работы на самом большом ледовом образовании, которое удалось обнаружить во время экспедиции.



Работы на ледовом образовании с типичными размерами.

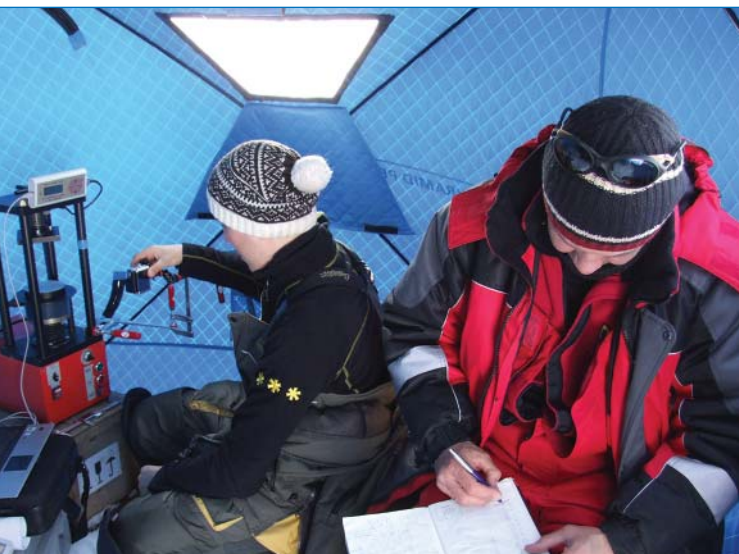
ров спутниковой системы Argos. Планируемый срок работы буев составлял 60 суток, но на деле только 10 из них работали штатно в течение этого периода. Остальные прекратили работу раньше, по не выясненным до конца причинам. Установленные буи-маркеры льда передавали информацию о своих координатах в общей сложности в течение 889 календарных суток со средней дискретностью 1,1 часа. От всех буев было принято чуть более 19300 сообщений о координатах их дрейфа.

Массив данных космической съемки был сформирован перед началом и непосредственно в процессе экспедиционных работ и вообрал в себя несколько десятков спутниковых снимков в диапазоне пространственного разрешения от 0,5 м/пиксель до 250 м/пиксель. Всего с 5 января до 29 мая было принято 40 спутниковых снимков Terra/MODIS с пространственным разрешением 250 м/пиксель, пять снимков Sentinel-1A с разрешением 5 м/пиксель, по одному снимку SPOT-6/7 с разрешением 1,5 м/пиксель и Pleiades с разрешением 0,5 м/пиксель, по два снимка TerraSAR X Wide ScanSAR с разрешением 40 м/пиксель и TerraSAR X StripMap с разрешением 3 м/пиксель.

За время экспедиции было обследовано 24 ЛО, из них три на прибрежном полигоне. Все обследованные ЛО представляли собой ЛО с торосами или (и) подсовами. Гигантские (более 10 км в поперечнике) и обширные (2–10 км в поперечнике) поля ровного льда, которые, вообще говоря, тоже планировались к изучению, на расстояниях до 200 км к востоку от о. Сахалин между северной и южной параллелями острова в период с 25 марта до 3 мая 2016 года не наблюдались ни при анализе спутниковых снимков высокого разрешения, ни с борта вертолета, ни при полетах квадрокоптера, ни при наблюдениях с борта судна. Не наблюдались также и большие поля (500–2000 м в поперечнике) ровного льда спокойного термического нарастания.

В результате полетов квадрокоптера, помимо оперативной информации с воздуха, необходимой для нахождения

Испытания образцов льда на одноосное сжатие и на изгиб с помощью пресса внутри каркасной неотапливаемой палатки.



и выбора ЛО, было получено 1803 фотоснимка и 5 часов видеофильмов, т.е. фотоматериалов, характеризующих видимые свойства льда в районах исследования двадцати четырех ЛО.

Тахеометрическая съемка была произведена на всех обследованных ЛО, при этом определены относительные высоты и координаты в системе, связанной с ЛО, в 1084 точках. На семнадцати ЛО геодезическая съемка с помощью тахеометра была дополнена съемкой лазерным сканером. На семи ЛО применить сканер не удалось, поскольку из-за ветровых условий и характеристик дрейфа льда приходилось прекращать выполнение сканирования и производить срочную эвакуацию людей и оборудования на экспедиционное судно. Еще одной причиной, по которой пришлось отменить лазерное сканирование, была ситуация прихода в район работ заметных волн зыби. Поскольку лазерное сканирование при вертикальных смещениях ЛО производить невозможно, этот вид работ приходилось отменять.

На всех ЛО, для которых были определены высоты и относительные координаты геодезическими методами, были произведены измерения морфометрических и морфологических характеристик гряд торосов, наслоенного льда и подсовов с использованием электрического бура. Максимальная толщина льда на морских полигонах составила 18,2 м, минимальная — 0,5 м. Всего за время экспедиции было пробурено 1077 скважин для измерения морфометрических и морфологических характеристик ЛО. Общая пробуренная толща льда составила 4778 м. Для измерений тех же морфометрических и морфологических характеристик еще одним способом на всех обследованных ЛО было выполнено 155 профилей георадаром «ЛОЗА». Общая длина профилей — 6382 м с шагом вдоль профиля 10 см.

За время экспедиции был выбурен 71 керн льда для описания его текстуры и 80 кернов для определения его физико-

Модифицированный, управляемый по кабелю, подводный аппарат «ГНОМ Стандарт». В результате модификации к базовой конструкции были добавлены два мощных фонаря SeaLife Sea Dragon и камера высокого разрешения GO PRO HERO 4.



механических свойств. Из этих 80 кернов произведено 637 испытаний прессом на одноосное сжатие и изгиб, 637 определений плотности, 1367 измерений температуры, а также 1410 измерений солёности. Также было выполнено 51 определение прочности льда *in situ* (непосредственно в скважине во льду) с помощью прессиометра. На пяти ЛО морских полигонов проводились определения прочности при изгибе 6 ледяных консолей на плаву.

На всех ЛО морских полигонов проводились определения подводного рельефа с помощью модифицированного подводного аппарата «ГНОМ Стандарт». Работы проводились способом отдельных погружений — подводных маршрутов, которые прокладывались в относительно прямом направлении под ЛО, вдоль погруженных под воду размеченных реек, с последующим возвратом в исходную точку. Всего было выполнено 68 погружений, в результате которых получен 91 Гб фото- и видеoinформации, отражающей свойства подледного рельефа ЛО.

Наблюдения за течениями и вертикальным распределением температуры и солёности выполнялись на каждом ЛО морских полигонов. Всего было выполнено 17 серий измерений течений длительностью от 30 до 530 мин и 40 гидрологических зондирований. Метеорологические наблюдения на прибрежном полигоне производились в течение более чем 28 суток, а в районе мелководного и глубоководного морских полигонов — 20 суток.

Нельзя сказать, что методы измерений, которые применялись в экспедиции, были какими-то принципиально новыми. Ведь известно, что комплекс измерений в области индустриальной гидрометеорологии в сильной степени регламентирован ГОСТами, руководствами и сводами нормативов и правил. Благодаря статьям зарубежных и отечественных авторов, среди которых значительное место занимают опубликованные работы сотрудников «ледовых» отделов и лабораторий ААНИИ, заинтересованный специалист может узнать и о множестве тонкостей в методологических подходах при исследовании характеристик льда. Кроме того, автору настоящей статьи только за последние 10 лет довелось активно участвовать в четырех международных экспедициях с серьезным, хорошо оснащенным ледоисследовательским блоком измерений. Так что экспедиции ГОИН оставались только следовать рекомендуемым и опробованным методам измерений. Пожалуй, только один метод из примененных в экспедиции можно назвать новым — это попытка измерить

Особенности подводного рельефа ЛО и один из этапов выполнения гидрологических измерений с помощью приборов ADCP и CTD SBE19plus. Снимок сделан с помощью подводного аппарата «ГНОМ Стандарт».



и толщину, и внутреннюю структуру ЛО с помощью георадара «ЛОЗА». И первая, и вторая задача не являются, применительно к морским (не пресным) льдам, тривиальными. На настоящий момент следует признать, что применение георадара для измерения толщины вполне себя оправдало, хотя результаты измерений внутренней структуры ЛО еще нуждаются в дальнейшем осмыслении и более глубоком сравнении с результатами бурения и испытаниями образцов льда прессом.

В рамках настоящей статьи неуместно, пожалуй, представлять анализ тысяч цифр разнообразных измерений, выполненных экспедицией ГОИН. Однако один, наиболее яркий, по крайней мере для меня лично, результат хотелось бы отметить. Было еще раз получено подтверждение того обстоятельства, что при интерпретации изображений ледяного покрова на спутниковых снимках чрезвычайно полезно и даже необходимо иметь его хотя бы самые простые визуальные наблюдения с «близкого расстояния» — со льдины, с борта судна, низколетящих вертолета или беспилотного летательного аппарата. Так, в районе прибрежного полигона в конце марта 2016 года на нескольких снимках со спутника припай мог быть интерпретирован как однолетний белый лед. Но при попытке сотрудников экспедиции высадиться и начать работы с этого припая немедленно обнаружилось, что он состоит из снежуры 10-балльной сплоченности с толщиной 10–20 см. Недостаточные прочностные характеристики припая из снежуры не позволяли передвигаться по нему ни пешком, ни на снегоступах и лыжах, ни на снегоходе. Также было невозможно передвигаться по припая с помощью плавательных средств, имеющих малую осадку. Ни гребная, ни моторная лодки не могли двигаться в снежуре сплоченностью 10 баллов. Все это потребовало оперативного изменения планов экспедиционных работ, составленных на основе спутниковых данных.

Еще одним примером важности наблюдений или измерений характеристик льда «вблизи» может служить добрая четверть обследованных ЛО. Даже при полетах вертолета на высотах порядка 100 м с опытейшим ледовым наблюдателем на борту (наблюдателем был легендарный полярник Т.В. Петровский, который, находясь в отпуске в родной для него организации ААНИИ, нашел возможность присоединиться к экспедиции ГОИН) многие ЛО, имеющие на поверхности редкие торосы высотой не более метра, казались просто однолетним льдом толщиной 70–80 см. Однако при ближайшем рассмотрении с борта судна или с квадрокоптера, «зависающего» на высоте 3–10 м, оказывалось, что ЛО состоит из 4–5 слоев наслоенного однолетнего льда и его интегральная толщина составляет порядка трех метров. При близком рассмотрении такие ЛО «выдавало» едва заметное превышение их верхней поверхности над окружающими «обыкновенными», без подсовов и наслоений, однолетними льдами. Обследование таких ЛО ясно показывало, что их масса в 3–4 раза больше, чем масса аналогичных по горизонтальным размерам ледяных полей ровного, не только сверху, но и под водой, однолетнего льда.

Представляется, что обработанные результаты проведенных экспедиционных работ станут весомым вкладом в дело освоения Россией ЮКМ.

С.В. Писарев (ФГБУ «ГОИН»).  
Фото С.В. Писарева, М.Е. Будаева