

НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ НАУКИ РАН

АРКТИКА: ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ

Наука за рубежом

№48, февраль 2016

Ежемесячное обозрение

Электронное издание:

www.issras.ru/global_science_review

Рубрики «**Социальные и экономические науки и статистика**»,
«**Энергетика и транспорт**»

Обзор выполнила **В. С. Дорогокупец**

Выпускающее подразделение: **Сектор анализа зарубежной науки**

Руководитель проекта **Л. К. Пипия**

Редактор **О. Е. Осипова**

Верстка: **Н. В. Шашкова**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Особенности ледового покрытия	4
2. Исследование арктических шельфов	17
3. Логистика и инфраструктура	25
4. Защита от нефтяных загрязнений на арктическом шельфе	27
ПРИЛОЖЕНИЕ	31
Рис. 1. Относительная стоимость и периоды полевых работ для различных уровней получения сейсмических данных	31
Рис. 2. Внешний континентальный шельф Аляски: разведка пробуренных скважин	32
Рис. 3. Глубина воды и технологии разведочного бурения, используемые в Чукотском море и море Бофорта	33
Рис. 4. Примеры конструкций с гравитационным основанием и конструкций башенного типа	34
Рис. 5. Некоторые виды танкеров, работающих в водах Арктики	34
Рис. 6. Предотвращение разливов нефти при бурении на шельфе, технологии контроля и реагирования и их применение	35
Рис. 7. Оценка и управление рисками	36

Предлагаемый обзор продолжает серию публикаций об Арктике, в основе которых лежит доклад Национального совета США по нефти «Арктический потенциал. Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов арктической зоны США». Россия – крупнейшая северная страна. Освоение Арктики для нее обусловлено рядом стратегических факторов не только экономического характера, но и необходимостью обеспечения своих геополитических интересов и национальной безопасности в этой зоне. Одних финансовых вливаний недостаточно. Необходимы научные кадры, разрабатывающие новые технологии, высококвалифицированные специалисты, способные эти технологии применять. Освоение Арктики под силу странам, имеющим развитую науку и обладающим самыми современными технологиями в широком спектре областей: от космических и навигационных технологий, достижений в области тяжелого машиностроения до технологий выживания живых организмов в условиях экстремального холода и даже этнографических исследований.

1. Особенности ледового покрытия

В силу характерных особенностей Крайнего Севера арктическое ледовое покрытие на поверхности воды является не только важнейшей составляющей климатической системы Земли, но и точным индикатором происходящих в этой системе изменений. Зимой атмосфера намного холоднее океана, поскольку лед препятствует обмену тепла между ними [1]. Состояние арктического льда в разных районах оценивается по-разному. Под воздействием ветров и океанических течений ледовое покрытие претерпевает постоянные изменения, которые подвержены годовому циклу. Согласно оценкам, площадь льда достигает 15 млн км² в зимний период и варьируется от 4 до 6 млн км² в конце лета. Льды, встречающиеся в море, классифицируются по видам, формам, подвижности и другим признакам. В зависимости от стадии развития морские льды делятся на ряд видов и форм. Молодым называют лед, образовавшийся в течение одного года. Не растаявший за лето лед превращается в двухлетний лед толщиной более 1,2–1,5 м, а лед, просуществовавший более двух лет, называется арктическим паком, или многолетним, он имеет толщину более 2 м. По подвижности морские льды делятся на припай и дрейфующий лед, подразделяющиеся, в свою очередь, на ледяные острова и айсберги, которые, в отличие от других видов морского льда, состоят из пресной воды. Они откалываются

от шельфовых ледников, и их присутствие в Северном Ледовитом океане весьма неоднородно. Основная их часть сконцентрирована у берегов Гренландии, а также у крупных островов российской части Арктики, таких как Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Северная Земля. Размеры айсбергов могут варьироваться от нескольких метров до нескольких сотен метров, а их вес – достигать десятков миллионов тонн, и именно поэтому они нередко представляют собой немалую опасность во время проведения работ и угрозу для уже созданной инфраструктуры.

Американские исследователи отмечают, что в США в море Бофорта и в Чукотском море айсбергов нет [2]. Паковый лед окружает береговую линию Аляски практически круглый год, хотя в последние годы в летний сезон подобное явление наблюдается все реже. Припай начинает формироваться в неглубоких прибрежных водах уже в октябре, а к концу января новое ледовое покрытие отступает от берега на 15–30 м и держится практически до июня. В летние месяцы, с июня по сентябрь, припай ломается и тает. Образовавшиеся воды относят дрейфующие льдины к северу, тем самым освобождая пространство для ведения буровых работ и навигации. Характер и сроки ледохода существенно отличаются в разные годы в зависимости от географического положения и размеров площади незамерзающих вод. Недавно полученные данные ясно свидетельствуют о том, что за последние 20–30 лет как строение льда, так и периоды ледостава в море Бофорта претерпели значительные изменения:

- существенно увеличился период открытой воды в летний период – на 2–3 недели (что эквивалентно возрастанию с 30 до 40% времени);
- согласно информации, предоставленной Национальным ледовым центром, происходит ускоренное отступление северной кромки льда в период с августа по октябрь;
- по недавним подсчетам, исчезло почти 40% площади вечных (многолетних) льдов;
- снизилась стабильность припая, вероятно, связанная с сокращением обширности территорий торосистого льда в мелководных районах Норт-Слоупа.

Сезонные ледовые условия в Чукотском море несколько отличаются от описанных выше. Ледостав здесь длится в среднем 8 месяцев в году, с ноября до начала июля, но это на 4–6 недель меньше, чем в море Бофорта.

Однако американские эксперты характеризуют произошедшие за последние 30–40 лет изменения в структуре и периоде ледового покрытия Чукотского моря как драматические. А именно произошло следующее:

– значительно увеличился период летней открытой воды – на 4–5 недель. Исторические показатели в среднем варьировались от 12 до 13 недель, за последнее десятилетие вода не замерзает уже в течение 17 недель. Пик максимальной протяженности открытой воды приходится на конец лета, в результате чего в южной части Чукотского моря период ледостава смещается на начало декабря;

– в течение летнего периода, с августа по октябрь, происходит ускоренное отступление кромки льда.

Изменение окружающей среды в Арктическом регионе обсуждается уже давно, и в подтверждение этому собрано немало фактологического материала посредством спутниковой съемки, полевых исследований и свидетельств коренных народов Крайнего Севера. Полученные данные подсказывают неутешительные выводы: обширность площади ледового покрова и его толщина претерпевают явные изменения. Ученые сконцентрировали свои усилия на разработке климатических и метеорологических моделей, которые позволят предсказать состояние окружающей среды в заполярных широтах в будущем. Соответственно для моделирования различных геопространственных процессов создана подсистема моделирования. Она позволяет осуществлять визуальную разработку определенных сценариев, выдачу рекомендаций для принятия решений, оценку принятых решений, контроль развития процессов и действий их участников на основе технологии экспертных систем и представления знаний на основе онтологий [3]. Однако с технической точки зрения любые прогнозируемые изменения климатических условий и состояния льда сталкиваются с некоторой долей консерватизма. Если ожидается, что спроектированные условия будут менее тяжелыми, то общий подход должен базироваться на сохранении уже существующих установок, не принимая в расчет «незначительные изменения». Если же, согласно прогнозам, произойдет ухудшение условий, то необходимо разработать программу, позволяющую приспособиться к этим изменениям. Для выполнения поставленных задач важно достаточно глубоко понимать происходящие в Арктике процессы. Таким образом, необходимо уделять особое внимание указанным далее темам.

Обширность площади ледового покрова. Начиная с 1979 г. площадь ледового покрова в Арктике заметно сокращается. Наиболее очевидные изменения происходят в летний период: территория открытой воды увеличилась на 30% за последние 30 лет. Хотя эксперты признаются, что привести точную цифру затруднительно из-за сложности расчетов, но общая тенденция налицо. Беспокорство вызывает истощение многолетнего ледового покрова и дрейфующее состояние однолетних льдов, которые больше всего подвержены летнему таянию. В настоящий момент возраст более 90% морского льда, предположительно, не превышает 3 лет. Еще в 1989 г. 80% арктической территории было покрыто как минимум 10-летним льдом. Среди других причин, влияющих на изменение климатических условий в Заполярье, можно причислить уменьшение альбедо снега, влияние теплых атлантических и тихоокеанских течений, общее атмосферное потепление.

Толщина ледового покрова. Наблюдение за изменением толщины ледового покрова производится при помощи платформы спутника и гидролокационной станции верхнего обзора. Полученные данные свидетельствуют об уменьшении толщины арктического льда практически на 50%. Хотя наличие и толщина многолетнего льда уменьшается, толстые многолетние плавучие льдины все еще существуют, и их положение остается неизменным. Канадская арктическая территория с точки зрения климатических показателей практически не претерпела сколько-нибудь явных изменений: там толщина многолетнего льда соответствует показателям 1970 г. Логично предположить, что уменьшение толщины ледового покрова приводит к сокращению объема морского льда. Спутниковые данные за 2003–2008 гг. свидетельствуют о снижении объема как в течение осеннего, так и зимнего периода (36 и 48% соответственно).

Климатические изменения, засвидетельствованные аборигенами. Коренные жители Аляски исторически занимаются охотничьим промыслом и рыболовством. Исчерпывающее знание климатических изменений – залог выживаемости. Поэтому такие явления, как замерзание рек и озер и начало ледохода, являются основополагающими в жизни полярного охотника. Местные жители утверждают, что за последние 30–50 лет в арктических широтах стало теплее, замерзание воды происходит позже, а ледоход раньше. Кроме того, они подтвердили сокращение площади многолетнего

морского льда и присутствие сопутствующих эффектов, таких как:

- рост количества однолетних льдов;
- меньшая стабильность пакового льда;
- увеличение продолжительности сезона дрейфующих льдов;
- ускоренное отступление кромки льда в весенне-летний период.

Таким образом, прогнозирование и мониторинг ледового покрытия фокусирует свое внимание на следующих параметрах:

- местоположение и обширность площади;
- дрейф льда (в настоящий момент и прогнозируемый);
- концентрация ледового покрытия (полная или частичная);
- толщина ледового покрытия;
- давление пакового льда.

Знания о типе и количестве льда, находящегося выше по течению, позволяют осуществлять краткосрочное (1–3 дня) планирование. Данные о дрейфующих льдах могут использоваться для расчета сроков, за которые льды достигнут определенной точки. Благодаря пониманию состояния концентрации ледового покрова, его толщины и давления движущегося пакового льда возможно осуществлять контроль за ледовой обстановкой. Основными источниками информации системы мониторинга ледовой обстановки и обеспечения безопасного судоходства в районе являются специальные системы наблюдения, использующие различные принципы сбора и первичной обработки данных. Помимо платформы технологии для изучения льда включают в себя аэрокосмические бортовые системы дистанционного зондирования, морские системы, подводные платформы, прямое изучение и мониторинг ледового покрытия и прогнозирование. Необходимо отметить, что контроль ледовой обстановки задействует одновременно несколько перечисленных выше систем, поскольку зависимость от показаний только одного датчика может поставить под угрозу всю исследовательскую работу, в случае если он выйдет из строя. В существующей практике спутниковое дистанционное зондирование ледового покрова является одним из самых распространенных методов мониторинга. Используют его уже несколько десятилетий. В условиях исключительной удаленности и обширности территории Арктики именно спутниковые платформы обеспечивают непрерывность и последовательность долгосрочного контроля полярных районов. Существует ряд приборов, принцип

работы которых основывается на спектре электромагнитного излучения, позволяющем различать покрытые льдом районы и свободные ото льда. Тем не менее, как указывалось выше, один датчик не может обеспечить полноты информации.

Инновационные разработки в области спутниковых технологий играют важную роль в изучении характеристик льда. В Европе и Канаде для исследовательских целей были спроектированы и реализованы многочисленные спутники. Потенциально их можно использовать и для мониторинга ледового покрытия, поскольку они выполняют следующие задачи:

- обеспечивают сбор данных в конкретно заданной области Арктики за значительно более короткий период, чем традиционные технологии. Это позволяет получать более полную информацию о динамично меняющемся ледовом покрытии;
- предоставляют более широкие возможности в выборе желаемых изображений, способа их получения, пространственного расположения и ширины полосы обзора в зависимости от преследуемых целей;
- снижают затраты, поскольку прогнозирование осуществляется на основе уже полученных спутниковых данных;
- позволяют потенциально определить характеристики льда: его тип, высоту гребня, толщину, глубину залегания.

Развитие спутниковых технологий не ограничивается только аппаратным обеспечением и материальными активами. Ведутся исследования в области разработки датчиков, которые наиболее точно и эффективно выполняли бы задачу мониторинга ледового покрытия.

Приведем примеры современных разработок.

- RADARSAT – канадская космическая радиолокационная система. На таких спутниках устанавливаются радиолокаторы бокового обзора с синтезированной апертурой антенны (РСА)¹, позволяющие получать изображения земной поверхности независимо от погодных условий и освещенности.

- TanDEM-X – немецкий спутник дистанционного зондирования Земли для создания глобальной цифровой модели высот повышенной

¹ РСА – радиолокатор с синтезированной апертурой.

точности. Способен выполнять съемку с пространственным разрешением до 1–2 м и шириной полосы обзора от 300 до 500 м.

- Sentinel – по информации Европейского космического агентства, спутник получает изображения сквозь облака и в полной темноте, что делает его незаменимым для съемки в чрезвычайных ситуациях. Также спутник способен отслеживать долговременные важные метеорологические события, например состояние ледников, и создавать карты морских льдов в арктических водах.

- ICEYE – группа микроспутников для зондирования поверхности Земли, разрабатываемая одноименной финской компанией при содействии финских университетов. Они способны предоставлять снимки в несколько раз быстрее, чем современные аппараты. Спутники, оборудованные радиолокационными станциями с синтезированной апертурой, будут способны делать снимки земной поверхности в условиях, непригодных для обычных спутников с оптическими системами наблюдения. Запуск первого спутника намечен на 2016 г.

- CryoSat-2 – искусственный спутник Земли Европейского космического агентства, запущенный в 2010 г. Спутник отслеживает динамику изменения ледников в арктических широтах.

- Служба ледовой разведки Канады является самым крупным потребителем информации. Для коммерческого распространения информации RADARSAT-1 в мире создана международная сеть из 28 станций прямого приема данных RADARSAT-1 и 80 компаний-дистрибьюторов. Единственная российская станция приема в составе этой сети, введенная в строй в 2004 г. центром «СканЭкс», позволяет покрывать практически всю территорию Европейской части России и соседних государств, акватории Северного Ледовитого океана, Каспийского, Черного и Азовского морей. 13 октября 2004 г. представители Канадского космического агентства (CSA) и компании-оператора (MDA) сертифицировали первую российскую приемную станцию².

- Программа CSA по развитию приложений, осуществляющих наблюдение за Землей, стимулирует и поддерживает инновационную канадскую промышленность, которая способна поставить на международный рынок продукт, удовлетворяющий требования пользователей. Синергетический

² Zoom.cnews.ru: 09.11.2005. –

http://zoom.cnews.ru/rnd/news/top/radarnyj_sputnik_kanada_ne_daet_rossii_oslepnut

эффект будет выражаться в выпуске новых датчиков. Программа ставит перед собой следующие задачи:

- доступность и более масштабное применение спутниковых данных;
- стимуляция развития инновационных приложений;
- рост уровня экспертных знаний и конкурентоспособности канадской промышленности;
- подготовка канадской промышленности к возможности извлекать выгоду, используя технологические достижения в области исследования Земли из космоса.

- Программа по обнаружению айсбергов при помощи спутниковых радаров и осуществлению морского ледового контроля – это многолетние исследования, проводимые в районе Ньюфаундленда (Канада), нацеленные на оптимизацию эффективности применения спутникового радара для контроля морского льда и айсбергов. Главными элементами этой работы являются: разработка алгоритмов и программного обеспечения, полевые исследования, демонстрация полученных результатов и обучение.

- Landsat-8 – американский искусственный спутник, который производит съемку суши и полярных регионов; восьмой спутник, запущенный в рамках программы Landsat.

В современной бортовой системе исследований существует несколько аспектов, представляющих операционно-технические сложности:

- 1) повторный мониторинг интересующих районов;
- 2) неуверенность в том, что информация будет приобретена, особенно если заказы поступили практически без предварительного уведомления;
- 3) отсутствие контроля режима получения спутником информации и площади покрытия, чтобы оптимизировать результаты.

Именно поэтому бортовая разведка ледового состояния останется в качестве дополнительного инструмента слежения к спутниковому наблюдению. Бортовые датчики используются в режиме реального времени, чтобы оценить состояние льда и уровень опасности, который он представляет для инфраструктуры, расположенной на шельфе. Особое внимание уделяется датчикам погоды – широкополосным датчикам. В основном это радарные системы, которые имеют большое значение для работы арктических буровых установок. Что касается радарных систем, то за несколько последних лет европейская научно-исследовательская деятельность в области бортовой разведки была сосредоточена на развитии и тестирова-

нии радиолокационной станции с синтезированной апертурой. Подобные системы удобны при определении характеристик ледового покрытия, поскольку они:

- являются активными системами зондирования, которые обеспечивают свой собственный источник подсвета и могут получать изображения и в дневное, и в ночное время суток. Они работают как на более длинных радиоволнах Р-диапазона, так и на более коротких – Х-диапазона³;
- позволяют классифицировать особенности ледового покрытия, используя дополнительную обработку отраженного сигнала, сохраняя его фазу и величину, применяя различные алгоритмы и поляризацию;
- осуществляют напрямую измерения толщины ледового покрова посредством низко- и высокочастотных радиолокаторов.

Кроме того, бортовая система, основанная на работе сразу нескольких датчиков, возможно, передает слишком много повторяющейся информации. Однако это обстоятельство является существенным преимуществом в случае, когда один из датчиков выходит из строя. В дополнение к радиолокационным системам используют ГПР (грунт-проникающий радар) и ЭМИ (измерение электромагнитного излучения), последний – особенно часто. С их помощью измеряют толщину морского льда и прогнозируют его ломкость.

Радиолокационные системы широко используются для получения цифровых моделей рельефа. В настоящий момент довольно перспективным является использование двухволновых систем. Компания Furgo предлагает изображения GeoSAR, полученные синхронно с одного носителя в двух диапазонах с разной длиной волны: коротковолновый – Х и длинноволновый – Р. Радар установлен на борту воздушного судна «Гольфстрим II». Система позволяет получить данные о состоянии льда со скоростью 288 км²/мин, гарантируя мониторинг огромных арктических площадей. Данные о толщине льда позволяют определить его возраст, различая однолетний и многолетний ледяной покров, а также увидеть линии раскола.

³ Р-диапазон – рабочий диапазон частот радиолокационных установок в интервале 1–0,3 ГГц, Х-диапазон – диапазон частот в интервале 12,5–8 ГГц. Другие применяемые диапазоны: С-диапазон – 8–4 ГГц, S-диапазон – 4–2 ГГц, L-диапазон – 2–1 ГГц.

Немецким аэрокосмическим центром был создан радиолокатор нового поколения F-SAR. Основной характеристикой радиолокатора с синтезированной апертурой является минимальная масса. Многодиапазонные РСА в основном используются для важных исследовательских задач: проведения экспериментов для обеспечения новых информационных технологий, создания банков радиолокационных характеристик, совершенствования методик и алгоритмов обработки (дешифрирования) радиолокационных изображений. F-SAR работает сразу в нескольких частотных диапазонах (X, C, S, L и P) с реализацией однопроходной интерферометрии в X- и S-диапазонах, имеет совершенное метрологическое обеспечение для проведения сложных измерений радиолокационных характеристик земных покровов и объектов [4].

Морские радиолокаторы. Используются для обнаружения ледовых полей, чтобы избежать столкновения. Среди новейших разработок в этой области следует отметить наличие специализированных судовых станций, которые применяют передовые технологии обработки видео- и геопрозрачного материала. Процессор дополнительной обработки радиолокационных сигналов, сопряженный с устройством, осуществляющим работу на основе интеллектуальной системы Sigma-S6 интегрированных систем Enfotec IceNav и Ion Narwhal, позволяют получить высокое разрешение изображения с несколькими сотнями оттенков цвета на дисплее. Однако в отличие от спутникового, морской радиолокатор не всегда распознает однолетний и многолетний лед. В настоящее время в данном направлении ведутся исследования.

Транзиты судна. Из журналов с записями о состоянии льда можно извлечь информацию о толщине льда, данные о высоте гребня, интенсивности грядообразования и возникновении сжатого льда. Если указано время и местоположение, то подобная информация может оказаться полезной для сверки со спутниковыми данными.

Береговые морские радиолокаторы. Морские радиолокационные системы успешно используются для мониторинга состояния прибрежного ледяного покрова на Аляске. Коротковолновые радиолокаторы (X) на 10–25 кВт установлены Университетом Фэрбанкс и работают приблизительно в 10-км диапазоне. Они фиксируют движение льда, деформацию, разломы и стабильность припая.

Исследования с применением морских радиолокаторов. Слежение за ледовой обстановкой является одним из основных видов исследовательской деятельности, в которой применяется морской радиолокатор, особенно в Канаде. Главные изучаемые аспекты – это более точное выявление возможностей движения льда и определения направлений этого движения, отслеживание эффектов дождя. Для получения данных применяется один или несколько из следующих методов:

- увеличение темпа выборки посредством увеличения частоты повторения импульсов или скорости сканирования;
- увеличение временного интервала задержки, благодаря чему получается более качественный шумовой сигнал;
- увеличение мощности и коэффициента передачи;
- уменьшение ширины луча локатора, который сокращает угол отслеживания шумов;
- использование опций мультиполяризации;
- применение длинных волн, как правило S-диапазона вместо X-диапазона;
- расширенная обработка сигнала, такая как усреднение показаний при сканировании.

Если современные технологии и инфраструктура позволяют изучать формирование ледового покрытия, его тип и концентрацию практически в любой сезон и на любой территории Заполярья, то наблюдение за толщиной морского льда в настоящее время вызывает определенные трудности. Тому есть две причины. Во-первых, морской лед в основном непрозрачен, поэтому использовать электромагнитное излучение для определения толщины с самолета или спутника не всегда возможно. Во-вторых, на расстоянии от одного до десяти метров толщина льда может значительно меняться, что трудно распознать дистанционно. Поэтому, несмотря на все прогрессивные разработки, информацию об изменениях толщины морского льда лучше всего получать при помощи дистанционного зондирования с подводных платформ. Однако для измерений, проводимых с подводных лодок или подводных станций, существуют некоторые ограничения:

- их практически невозможно использовать в режиме реального времени;
- сложно спланировать, когда и с какого участка потребуются данные;

– существует проблема своевременной доставки данных о проведенных операциях.

В связи с этим наличие подводных платформ является важным показателем (помимо военно-морских целей) в стратегическом планировании глобальных операций на шельфе, таких как поставка оборудования, морские грузовые перевозки, погрузка и транзитная перевозка, проведение мероприятий по ликвидации разливов нефти.

Следует отметить, что технологические перспективы весьма широки. Потенциал автономных подводных систем арктического класса увеличивается, предоставляя дополнительные возможности для исследования окружающей среды и ледового покрытия. В работе этих систем основное внимание уделяется следующим направлениям:

- запуск и прием через ледовое покрытие;
- предотвращение столкновений;
- навигация без службы GPS;
- подводная установка, перезагрузка и обмен информацией.

Итак, мы вкратце изложили методы дистанционного зондирования, при которых непосредственного контакта со льдом нет. При таких способах исследования информация охватывает огромные пространственные массивы, и требуется дополнительное время на обработку полученных данных. Прямые измерения, при которых инструмент исследователя находится в непосредственном контакте со льдом, характеризуются высокоточными данными в отношении конкретного образца, однако такой метод весьма непрактичен для изучения ледового покрытия, занимающего большую площадь. Тем не менее, если принять метод прямого изучения за основу и использовать его в качестве проверки данных, полученных при помощи дистанционного зондирования, то можно увеличить размеры исследуемых площадей.

Прямые измерения включают в себя следующие работы:

- бурение скважины;
- бурение скважины кольцевым забоем;
- вдавливание индентора в стенку скважины;
- измерение температуры;

- измерение солесодержания;
- установка спутниковых систем «маячок-закладка».

Текущие научные исследования сосредоточены на усовершенствовании прогнозирования образования айсбергов и дрейфующего морского льда. Целью этой проводимой в районе Ньюфаундленда научно-исследовательской программы, финансируемой из Программы совместной интеграции (JIP)⁴, является:

- выявить, насколько информация о наличии айсбергов и прогнозы состояния ледового покрытия с пространственно-временной точки зрения актуальны для промышленных нужд;
- определить эффективность уже существующих возможностей прогнозирования, а также доступные на сегодняшний день модели и оценить их сильные и слабые стороны с позиции промышленных нужд;
- определить точность и потенциал с помощью моделей дрейфующих льдов в создавшихся новых условиях и использовать эти результаты в текущих или запланированных операциях в нефтегазовом секторе;
- оценить преимущества совместно проводимых исследований, в том числе в режиме реального времени, и составить прогноз дрейфующих льдов.

Кроме того, в задачи программы включены исчисление предстоящего объема работ и их стоимость, разработка плана их выполнения, а именно:

- выявление и оценка новых и улучшенных технологий и методов;
- анализ данных, развитие и улучшение уже созданных моделей, в том числе программного обеспечения;
- испытание в полевых условиях, оценка моделей и оборудования, интеграция технологий и обучение.

К моменту выхода доклада была завершена только первая фаза работы.

Существует несколько методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки, в том числе и моделей прогнозирования ледовых условий. Все они довольно успешно доказали свою состоятельность на практике. Одна прогностическая методика была разработана специально для мониторинга слегка деформированного дрейфующего льда. Она прекрасно себя зарекомендовала в условиях работы

⁴ JIP – Joint Industry Programme.

в канадской части моря Бофорта: в течение 6 дней после начальной точки отсчета модель с точностью воспроизводила движение дрейфующего льда. Однако если концентрация льда становится более плотной и затрудняется его свободное перемещение, то следует прибегнуть к совокупности нескольких моделей прогнозирования. Арктическая система диагностики и прогноза (Arctic Cap Nowcast/Forecast System, ACNFS) опирается на усвоение исходных ледовых данных SSM/I и AMSR-E, которые формируются как результат автоматической обработки микроволновых спутниковых изображений, что дает преимущества, связанные с уменьшением доли ручного труда, но порождает зависимость от пространственного разрешения самих данных, так как ресурсы SSM/I и AMSR-E имеют растровую структуру с шагом 25 и 12,5 км соответственно. В российской практике исходные ледовые данные формируются как результат экспертной (неавтоматической) обработки спутниковых изображений, однако они имеют чисто векторный формат, что дает возможность усваивать такие данные в любой ледовой прогностической модели без ущерба для точности [5].

2. Исследование арктических шельфов

Приоритетными инженерно-геологическими технологиями являются те, которые способствуют увеличению продолжительности сезона бурения в полярных широтах, при этом обеспечивая эксплуатационную надежность, необходимую при разработке скважин, и сохраняя экологический баланс, т. е. не оказывая воздействия на организмы, жизнь которых связана с наличием льда. Для обеспечения вышеперечисленных условий применяется система управления ледовым пространством, которая включает в себя совокупность технологических компонентов, позволяющих добиться позиционирования плавучего морского основания в подвижных паковых льдах. Важность применяемых технологий объясняется высокими экономическими затратами, обусловленными увеличением продолжительности бурильного сезона.

Сбор и обработка сейсмических данных в арктических водах осуществляется по крайней мере уже последние пятьдесят лет. Первоначально на шельфе проводилась двухмерная (2D) сейсморазведка, которая в зимний период использовала наземные пункты приема, установленные на ледовом покрытии, а летом организовывались морские сейсмические исследования с буксируемой косой. До 2009 г. исследования с буксируемой ко-

сой, как правило, проводились в течение сезона открытой воды, так чтобы суда и необходимое оборудование работали в областях, либо не покрытых льдом, либо с тяжелым льдом. Но начиная с 2009 г. благодаря внедрению передовых технологий и методов ряд двумерных сейсморазведочных операций производится в паковом ледовом покрытии, при этом 90% работ ведется как в однолетнем, двухлетнем, так и многолетнем льду. В 1980-х гг. была введена объемная трехмерная (3D) сейсморазведка, что значительно увеличило базу полученных данных. На рис. 1 представлена технология сбора данных и методологии, применяемые в настоящее время на различных этапах жизненного цикла инженерно-геологических исследований.

Инженерно-геодезические исследования арктического шельфа на содержание углеводородов на Аляске и в море Бофорта начались примерно пятьдесят лет назад (в конце 1960-х гг.) с возведения искусственных гравийных островов на небольшой глубине. В 1970-х гг. подобная деятельность началась и на мелководье дельты реки Маккензи, и в канадской части моря Бофорта. Разведочная деятельность во внешней зоне континентального шельфа Аляски началась в 1980-х гг. и ведется до настоящего времени. На рис. 2 показаны области, в которых разведка осуществляется сегодня, и приведены общие данные о количестве буровых скважин. Геологоразведочные скважины постепенно смещаются в более глубокие воды благодаря новым технологиям и применению как фиксированных, так и плавающих станций, представленных на рис. 3.

Для обеспечения безопасности работ ведется контроль ледовой обстановки, т. е. совокупность операций во избежание столкновения, в первую очередь курсирующих судов, а также установленного оборудования, с айсбергами и смягчения (или предотвращения) воздействия морского льда. Контроль ледовой обстановки фокусируется на таких основных моментах, как:

- изучение состояния ледового покрытия и прогноз погоды, обнаружение и контроль;
- оценка состояния льда и угрозы, которую он может представлять при проведении работ;
- работа вспомогательного судна (судов), осуществляющего непосредственный контроль ледовой обстановки, т. е. судно ломает, толкает, омывает или буксирует лед, обеспечивая тем самым ледовую разведку.

Благодаря буровым и нефтедобывающим платформам разведочное бурение и добычу углеводородов в Арктике можно осуществлять круглогодично. В зависимости от производственных задач бурение и добыча может обеспечиваться как с единственной интегрированной платформы, так и с нескольких платформ, несущих различные функциональные нагрузки. Платформы гравитационного типа наиболее всего подходят для работы на арктическом шельфе. Они снабжены мощным бетонным или стальным основанием, опирающимся на морское дно. В этом основании размещаются колонны для бурения и резервуары для хранения добытой нефти и топлива, используемого в качестве энергоносителя, а также многочисленные трубопроводы. Искусственные острова подходят для работы на глубине 15–20 м и требуют наличия источника строительного материала – песка или гравия. Буровые установки гравитационного типа подходят для работ на большей глубине в условиях ледового покрытия. Как правило, изготавливают их на специализированных заводах, а затем буксируют до места назначения. Размер платформы зависит от глубины воды, состояния льда, плотности грунта и видов запланированных работ.

Для представления более ясной картины кратко охарактеризуем текущее состояние технологий.

Конструкторские стандарты. Самым важным стандартом для конструкций, предназначенных для работы на арктическом шельфе, является ISO 19906. Этот стандарт выдается с декабря 2010 г. и устанавливает закрепленные практические знания, полученные ведущими специалистами в данной области промышленности, подрядчиками, правительственными организациями и академическими институтами. Стандарт ISO 19906 был принят практически всеми странами Арктического региона в качестве национального стандарта.

Адаптация к зимним условиям. Конструкторские требования, предъявляемые к оборудованию, предназначенному для зимовки, хорошо известны и включают в себя обогрев и изоляцию рабочих и машинных помещений, цистерн или отсеков, содержащих жидкости (балласт, алкоголь, питьевую воду) и производственного оборудования. Особые требования предъявляются к системе отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, чтобы предотвратить скопление снега.

Материалы. В качестве строительных материалов используются сталь и бетон. Из-за чрезвычайно низкой температуры окружающей среды – до -50°C к качеству стали предъявляются дополнительные требования, хотя и обычные маркировки стали тоже находят свое применение. На шельфе используют маркировку B55 или B60, пригодную для работы при низких температурах.

Строительство, транспорт, установка. Применение платформ гравитационного типа на Аляске до настоящего времени считалось малопрактичным, поскольку в области нет годных строительных площадок с водой необходимой глубины (рис. 4). Основное различие между стальными и бетонными гравитационными платформами заключается в том, что для стальных, как правило, требуется твердый балласт, придающий основанию дополнительный вес и устойчивость к нагрузкам.

Безусловно, первоочередной задачей нефтегазовой промышленности является обеспечение безопасности жизнедеятельности сотрудников. Основополагающими проблемами, связанными с безопасностью персонала, являются возможность покинуть место, представляющее угрозу для жизни и здоровья, аварийная эвакуация и спасение людей.

Современные разработки по обеспечению безопасности персонала развиваются в следующем направлении.

Арктический ледокол для эвакуации. Проект подразумевает проектирование, строительство и полномасштабное применение судна, предназначенного для проведения работ по эвакуации в большем объеме, чем это делается на сегодняшний день.

Мобильный арктический ледокол для эвакуации с расширенной сферой применения. Суть проекта сводится к созданию мобильного ледокола, патрулирующего потенциально опасные районы и готового осуществить срочную эвакуацию людей до промежуточной безопасной базы, куда будет направляться ближайшее курсирующее судно.

Метод прямого внедрения персонала с дежурного судна на платформы или иные установки. Это простая система, при которой используются

несложные технологии аппаратного аварийного управления и электропитания. Персонал подбирается с учетом опыта работы с подобной системой, что в значительной степени экономит время и средства на обучение, а главное, обеспечивает успешный сценарий развития событий в случае аварии. Преимущество этой системы заключается в том, что эвакуация людей на судно производится без контакта с ледовой поверхностью, а следовательно, нет необходимости в обеспечении выживания в течение определенного периода времени нахождения за пределами опасной зоны.

Обучение и учебный симулятор. Арктическая среда создает немалые трудности в применении эвакуационных и спасательных систем с целью обучения и тренировок, которые необходимы для поддержания компетентных навыков персонала в условиях чрезвычайной ситуации. Повреждение аппаратной аварийного управления и электропитания в ходе учебных тренировок может поставить под угрозу жизнь персонала в случае возникновения реальной опасности, а ремонт вышедшей из строя системы может оказаться долгим и очень затратным. Кроме того, обучение персонала в зимний период невозможен из-за необходимости длительного пребывания на холодном воздухе. Решением перечисленных выше проблем послужит создание учебного симулятора, который позволит сохранять рабочее состояние систем безопасности жизнедеятельности и в то же время поддерживать необходимые навыки у персонала.

Осведомленность о ситуации. В некоторых регионах в определенное время года ледовая ситуация на шельфе может изменяться за короткий период времени, и успех эвакуации, среди прочих, зависит от состояния льда, который влияет как на работу эвакуационных систем, так и на возможность осуществить эвакуацию людей. При срабатывании сигнализации персонал направляют во временное убежище, чтобы оценить степень угрозы жизни. Период пребывания в убежище ограничен и равняется времени, необходимому, чтобы устранить незначительную неполадку или предпринять меры по эвакуации людей с установки.

По шельфовым трубопроводам и подводным установкам добытые из арктического шельфа углеводороды транспортируются до берега, где они перерабатываются и доставляются к месту назначения либо по наземным трубопроводам, либо в танкерах. По шельфовым трубопроводам углеводо-

роды могут поступать от одной платформы к другой, из добывающей скважины к перерабатывающей установке или из добывающей платформы до ближайшей точки, где происходит погрузка на танкеры. Наконец, по шельфовым трубопроводам углеводороды доставляют из скважины до берега. Основное внимание в технических разработках, предназначенных для применения в полярных условиях, уделяется устьевому отверстию скважины и производственным объектам, которые можно транспортировать ближе к берегу или на стационарную платформу, находящуюся на меньшей глубине, и тем самым исключить необходимость доставки промышленного оборудования по льду. Благодаря использованию подводных устьев скважин возможно свести к минимуму количество платформ, которые требуются в районах бурения. Среди основных особенностей подводных трубопроводов и работ на шельфе следует упомянуть следующие:

- взаимодействие подвешенной подводной гряды торосистого льда с морским дном и подводной инфраструктурой;
- перманентное присутствие ледяного покрова в зимний период;
- низкая температура окружающей среды;
- короткий сезон открытой воды;
- ледовая эрозия дна во время сезона таяния;
- условия вечной мерзлоты в зоне, непосредственно прилегающей к трубопроводу.

При расчете глубины залегания трубопровода необходимо принимать во внимание три фактора:

- 1) лед не должен соприкоснуться с трубопроводом (трубопровод должен залегать достаточно глубоко, чтобы избежать контакта со льдом);
- 2) необходимо закладывать дополнительный припуск при прокладке трубопровода, чтобы в случае эрозионных процессов, возникающих на его поверхности, была возможность его заменить;
- 3) еще одна закладка дополнительного припуска может потребоваться, чтобы избежать чрезмерного давления на трубопровод в результате деформации грунта.

Шельфовые трубопроводы и подводные сооружения лишь косвенно влияют на жизнедеятельность персонала, потому что риск подвергнуться опасности при взрыве газопровода в непосредственной близости от платформы минимален. Офшорные трубопроводы и подводные установки

играют важную роль в сбалансированном развитии и управлении экологическими ресурсами, поскольку они снабжены системами, обеспечивающими охрану окружающей среды в случае разлива нефти, произошедшего при контакте со льдом.

Научно-исследовательская деятельность в области технологий строительства шельфовых трубопроводов затрагивает ряд аспектов. Приведем некоторые из них.

Требования к глубине залегания трубопроводов. Большая часть исследовательской работы, касающейся глубины залегания трубопровода, направлена на изучение деформации почвенного покрова и прогнозирования сопряженной с этим деформации трубы. С начала 1990-х гг. крупные промышленные предприятия финансируют масштабные программы по изучению процесса ледовой экзарации и связанной с этим деформации почвы, которая вызывает дополнительное напряжение в проложенных на глубине трубопроводах.

Геофизические исследования борозд на морском дне. На сегодняшний день выявлена потребность в базе данных, которая поможет определить критерии расчетов при проектировании для каждого отдельно взятого участка. Огромная работа была уже проведена в области геофизических исследований ледовой экзарации, чтобы лучше понять частоту возникновения льда и его распределение на глубине. Необходимо отметить, что одно из лучших исследований с точки зрения долгосрочных прогнозов было выполнено Канадским геологическим исследовательским центром.

Методы траншейной прокладки. Поскольку требования к глубине траншей для прокладки трубопровода разнятся в зависимости от местности (например, в море Бофорта достаточно глубины около 5 м, а в зоне присутствия большого количества айсбергов, таком как шельф западной Гренландии, необходимая глубина достигает 7 м), исследования в основном направлены на улучшение методов траншейной прокладки как в условиях большой глубины, обусловленной присутствием айсбергов, так и для более глубоких траншей.

Подводное морское устье скважины и защита производственных объектов. Основная работа в этой области проводилась в рамках Общей от-

раслевой программы по предупреждению воздействий на окружающую среду (SIRAM JIP) и касалась главным образом защиты инфраструктуры, расположенной на морском дне, от столкновений со льдом или айсбергами, для обеспечения которой, как правило, используется стальной каркас.

В ряде областей внедрение новых технологий наиболее актуально. Например, в таких, как:

- методы определения возраста борозды на морском дне, позволяющие отличать реликтовую борозду от только что образовавшейся, и следовательно, помогающие облегчить работу по укладке трубопровода, углубив траншеи, которые образовались уже давно;

- методы прокладки трубопроводов с глубиной залегания более пяти метров, которые применяют в самых труднодоступных широтах Арктики, где подвесная гряда торосистого льда может цепляться за мягкое грунтово-е дно;

- адаптация как уже существующей, так и новой сенсорной техники для обнаружения утечки углеводородов и мониторинга целостности трубопровода;

- проекты, позволяющие уменьшить или предотвратить потерю продукта в результате неисправности трубопровода;

- улучшение подъездов к береговой линии, чтобы предотвратить таяние льда или избежать эрозии;

- пополнение базы данных о ледовой экзарации результатами повторных исследований тех районов, информация о которых является неполной;

- изучение процессов деформации грунта под бороздами, оказывающих влияние на форму траншеи;

- экономичные защитные структуры от ледовой экзарации для подводного устья скважины и производственного оборудования.

Для транспортировки углеводородов в водах, покрывающихся льдом, с успехом можно использовать танкеры, о чем свидетельствует многолетний опыт работы в приарктических областях: в Балтийском море, на Великих озерах, на Дальнем Востоке и в заливе Кука у южных берегов Аляски, где навигация продолжается в течение всего зимнего сезона. Кроме того, об эффективности танкерных перевозок свидетельствуют регулярные поставки мазута, осуществляемые вот уже несколько десятилетий в населенные пункты, расположенные за Полярным кругом как в Северной Америке,

так и в России. Более ограниченный, но не менее значимый опыт получен в ходе круглогодичной навигации танкеров в Арктике. В 1990 г. был принят и ратифицирован международными инстанциями закон «О нефтяном загрязнении», согласно которому танкеры, используемые в водах Арктики, обязаны иметь двойную обшивку, чтобы перевозимая нефть не касалась непосредственно внешней обшивки судна. Помимо этого, под эгидой Международной морской организации (ИМО) был принят Международный кодекс для судов, эксплуатируемых в полярных водах (Полярный кодекс). В нем предусмотрен весь спектр вопросов обучения экипажей, поиска и спасения, защиты окружающей среды, проектирования и эксплуатации судов. На рис. 5 представлены некоторые виды танкеров, работающих в водах Арктики.

3. Логистика и инфраструктура

Логистика и инфраструктура являются важнейшими компонентами разведки и разработки шельфовых месторождений. Логистическое обеспечение исследовательской и производственной деятельности требует перемещения человеческих ресурсов, наличия оборудования, в том числе и вспомогательного, организации его поставки к местам бурения. Для проведения разведочных работ инфраструктура должна удовлетворять определенным требованиям: необходимо наличие портов, аэродромов, пунктов питания и обеспечение связью. Весь цикл – начиная с разведки и до завершения производственных работ – делится на несколько стадий, каждая из которых предъявляет к логистическому обеспечению определенные требования. Развитие транспортного сообщения и строительство платформ и производственных объектов, а также укладка трубопроводов – на начальной стадии, перемещение персонала и бесперебойное снабжение всем необходимым для обеспечения его жизнедеятельности – в ходе производственной стадии и вывод из эксплуатации платформ, трубопроводов и производственных объектов – на заключительной стадии. Логично предположить, что чем выше активность на определенных точках, тем больше требований предъявляется к логистическому обеспечению. Как правило, они удовлетворяются за счет фрахтования или производства самолетов и морских судов для конкретных видов деятельности. В противном случае требования к инфраструктуре могут удовлетворить уже существующие ресурсы, в этом случае стимулируется не только развитие нефтегазодобывающей промыш-

ленности, но и оказывается положительный эффект на жизнь местных общин, локальную туристическую, коммерческую, охотничью и рыболовную деятельность. Кроме того, для промышленных нужд нередко задействуют и вооруженные силы США.

В большинстве районов Заполярья на шельфе уже созданы разрозненные инфраструктурные сети, но поддержание их в рабочем состоянии – это сложная задача из-за отдаленного расположения и присутствия вечных льдов. Однако перспективы логистического развития у всего Арктического региона, безусловно, есть. Конечно, это развитие сталкивается с гораздо более серьезными проблемами, чем где бы то ни было еще. Отсутствие населенных пунктов, портов, аэродромов затрудняет проведение научно-исследовательской деятельности на шельфе и опытно-конструкторских разработок. Строительство платформ и конструкций, необходимых для работы на шельфе, происходит за тысячи километров от места их назначения в Арктике, что создает дополнительные трудности при транспортировке. Существует ряд решений, которые позволили бы развить инфраструктуру, тем самым облегчив разведку нефтегазовых месторождений. Кроме того, эти решения послужили бы важным подспорьем для развития местных населенных пунктов, а также имели бы оборонное значение для Береговой охраны и ВМФ США. Наиболее оптимальным вариантом развития инфраструктуры представляется инвестирование или модернизация уже существующих объектов. Необходимо увеличить пропускную способность аэродромов, портов и дорог, обеспечить их современными навигационными системами, радарными и спутниковой связью.

Согласно указанным предпосылкам можно с уверенностью сказать, что порты являются важнейшей логистической точкой, и не только потому, что они служат основным звеном в цепи операций, связанных с добычей нефти и газа, но и потому, что от них во многом зависит экономическая жизнь населенных пунктов арктических районов. Однако деятельность, связанная с разработкой нефтегазовых месторождений, оказывает не только положительное, но и отрицательное влияние на прилегающие к порту населенные пункты. К положительным сторонам можно причислить экономическую выгоду, извлекаемую местными корпорациями по договорам аренды и лизинга, в то время как среди отрицательных можно отметить конкуренцию за ограниченные ресурсы (гостиницы, снабжение горючим, пропускная способность и т. д.). Последние предстоит тщательно изучить, найти пути

решения и воплотить их в жизнь. В будущем при планировании портов следует обратить внимание на следующие ключевые факторы:

- вместимость как площади поверхности водного пространства, так и глубины воды, чтобы гарантировать необходимые условия для эксплуатации оборудования;
- географическое положение, выгодное для нефтегазовой промышленности;
- ограниченность доступа из-за формирования сезонного ледового покрытия;
- узлы связи, включая воздушные, морские, наземные и железнодорожные пути;
- экологические и социально-экономические последствия, приближенность к трудовым ресурсам;
- геоморфологическая устойчивость и защита от суровых климатических условий;
- спрос, в том числе со стороны правительственных органов, общественных и частных организаций.

В условиях Арктики голосовая и телекоммуникационная связь очень важна для координации действий и передачи данных о безопасности ситуации в критических районах. В северной Аляске используются три основных способа телекоммуникации:

- спутниковое сообщение – основное средство связи с жителями Арктики и районами, в которых ведутся изыскания, за исключением залива Прадхо-Бей;
- двухточечное радио – расширяет территорию связи, не охваченную спутниковой связью;
- оптоволоконный кабель – используется в заливе Прадхо-Бей; в настоящее время возможности и скорость этого вида связи способны удовлетворить растущие требования, предъявляемые к новейшим средствам связи.

4. Защита от нефтяных загрязнений на арктическом шельфе

Ликвидация разливов нефти в арктических районах – проблема, затрагивающая несколько сторон: местных жителей, персонал, работающий в сфере нефтедобычи, контролирующие органы и широкую общественность в целом. Основной метод защиты от утечки углеводородов – превентивные

меры, которые выражаются в совокупности установленных, обязательных к соблюдению стандартов для системы управления всей нефтедобывающей промышленности, в сочетании с культурой безопасности жизнедеятельности и управлением рисками. Отраслевые стандарты в отношении профилактики разлива нефти сфокусированы на контроле за работой скважины посредством конструкторских разработок, предусматривающих как минимум два барьера в потенциально проблемных местах, через которые может произойти утечка. Три уровня защиты представлены на рис. 6.

Основными методами очистки ледяного покрытия от разлива нефти являются зафиксированные в перечне, принятые в мире стандартные меры:

- механическое сдерживание и сбор боновыми ограждениями и катерами-нефтесборщиками в паковых льдах. В более тяжелом льду нефтесборщики собирают нефть в специально предусмотренные для этого маслосборники;

- как правило, нефть проливается в небольшом объеме, поэтому ее собирают механическим путем, как только пятно локализовано и оборудование для сбора нефти доставлено;

- диспергенты, распыляемые на поверхность воды с самолетов, вертолетов и судов, в совокупности с механическим сбором, если того требуют условия льда или нефть пролилась на глубине;

- совокупность действий, позволяющих собрать и сжечь пролитую нефть на месте. В арктических условиях это может препятствовать распространению нефти по кромке льда без боновых ограждений, применения огнеупорных боновых ограждений в открытой воде или на паковом льду, находящемся в свободном водном пространстве, применения веществ, сгущающих нефть в открытой воде;

- обнаружение утечки и мониторинг ситуации, когда ответные меры планируется принять позже (например, сжигание на льду с наступлением весны);

- естественное исчезновение за счет испарения и дисперсии, т. е. отсутствие каких-либо ответных мер.

Процедура безопасности и управление рисками подразумевает присутствие ключевых фигур при проведении буровых работ: инженеров и технического персонала, сотрудников бурового подрядчика и обслуживающих фирм, обслуживающего персонала и других экспертов. Они определяют риски утечки нефти и превентивные меры, которые следует предпринять.

Вся информация тщательно документируется. Вероятность риска и последствия определенного события анализируются, в дальнейшем управление рисками ведется согласно зарегистрированным документально методам и процедурам. Пример описанного выше процесса приводится на рис. 7.

Среди исследовательских проектов, которые финансируются правительственными организациями, следует отметить десять.

Проект 1 – Движение разлитой нефти подо льдом. Первая фаза проекта подразумевает получение данных о турбулентности подо льдом, после чего эти данные будут использованы для вычислительной модели, с помощью которой возможно предсказать площадь разлитой подо льдом нефти. Такие показания необходимы для определения нужного количества диспергентов.

Проект 2 – Тестирование диспергентов в реальных условиях. Проект включает в себя ряд тестов, чтобы определить критерии эксплуатации диспергентов и минеральных порошков в арктических морях. Необходимо изучить тип нефти, ее вязкость, тип и концентрацию ледового покрытия, температуру воздуха и т. д. Кроме того, следует определить методы контроля над использованием диспергентов и минеральных порошков в каждом отдельно взятом арктическом районе.

Проект 3 – Воздействие разлитой нефти на арктическую среду. Технологии ликвидации разливов нефти. Проект нацелен на расширение базы знаний, помогающей полноценно оценить экологическое состояние окружающей среды.

Проект 4 – Моделирование траектории движения разлитой нефти в ледовом покрытии. Проект нацелен на создание моделей движения разлитой нефти в воде, в которой присутствует лед. Полученные результаты будут интегрироваться в созданные ранее модели траектории перемещения нефти.

Проект 5 – Обнаружение разлива нефти и картографирование пораженных территорий при низкой видимости. Проект уделяет внимание дистанционному зондированию и возможности контроля в условиях темноты и низкой видимости пакового льда и пространства подо льдом. Работа

ведется в двух направлениях: дистанционное зондирование (спутниковое или с судов) и подводное дистанционное зондирование (например, с фиксированных станций слежения).

Проект 6 – Механический сбор нефти во льду. Проект занимается оценкой новаторских идей по улучшению эффективности работы механического оборудования в арктических условиях.

Проект 7 – Сжигание нефти на месте, в воде с присутствием льда. Информирование. Проект предусматривает подготовку информационных материалов, предназначенных для специалистов и заинтересованных сторон, об эксплуатационных, экологических и технологических аспектах сжигания нефти на месте.

Проект 8 – Воздушные системы воспламенения при сжигании нефти на месте. Проект занимается усовершенствованием воспламеняющих систем, чтобы упростить практическое применение данного метода в условиях шельфовых работ в арктической зоне, когда присутствие льда ограничивает использование судов или платформ.

Проект 9 – Химические реагенты и горение на месте. Проект изучает эффективность применения химических реагентов, чтобы расширить возможности горения в открытой воде и водах, затронутых льдом.

Проект 10 – Полевые исследования. Исходя из проведенных научно-исследовательских работ, можно сделать вывод, что многие достижения и современные знания о технологиях и методах работы в Арктическом регионе были получены благодаря полевым экспериментам. Настоящий проект изыскивает возможности проведения крупномасштабных экспериментов с целью найти технологические решения поставленных задач и разработать оптимальную стратегию.

Приложение

Рисунок 1. **Относительная стоимость и периоды полевых работ для различных уровней получения сейсмических данных**

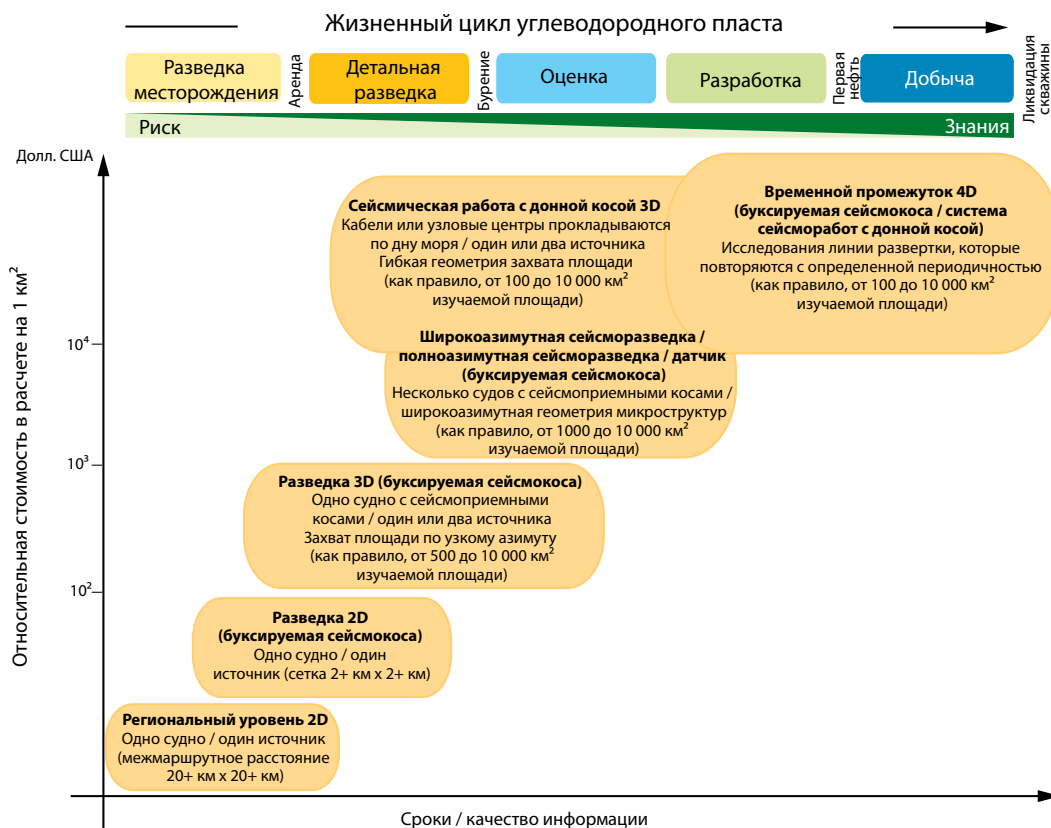
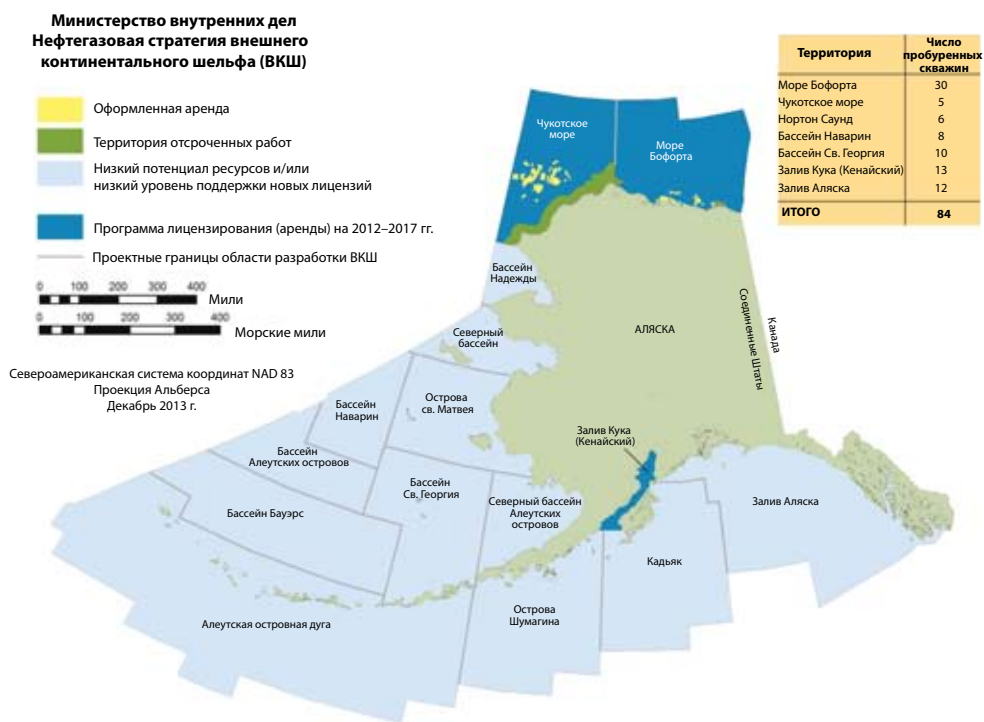


Рисунок 2. Внешний континентальный шельф Аляски: разведка пробуренных скважин



Примечание. Морские границы, приведенные на рисунке, а также территориальное деление предназначены только для начальных этапов планирования и не обязательно в полной мере отражают суверенные права США в соответствии с внутренним и международным законодательством.

Рисунок 3. Глубина воды и технологии разведочного бурения, используемые в Чукотском море и море Бофорта

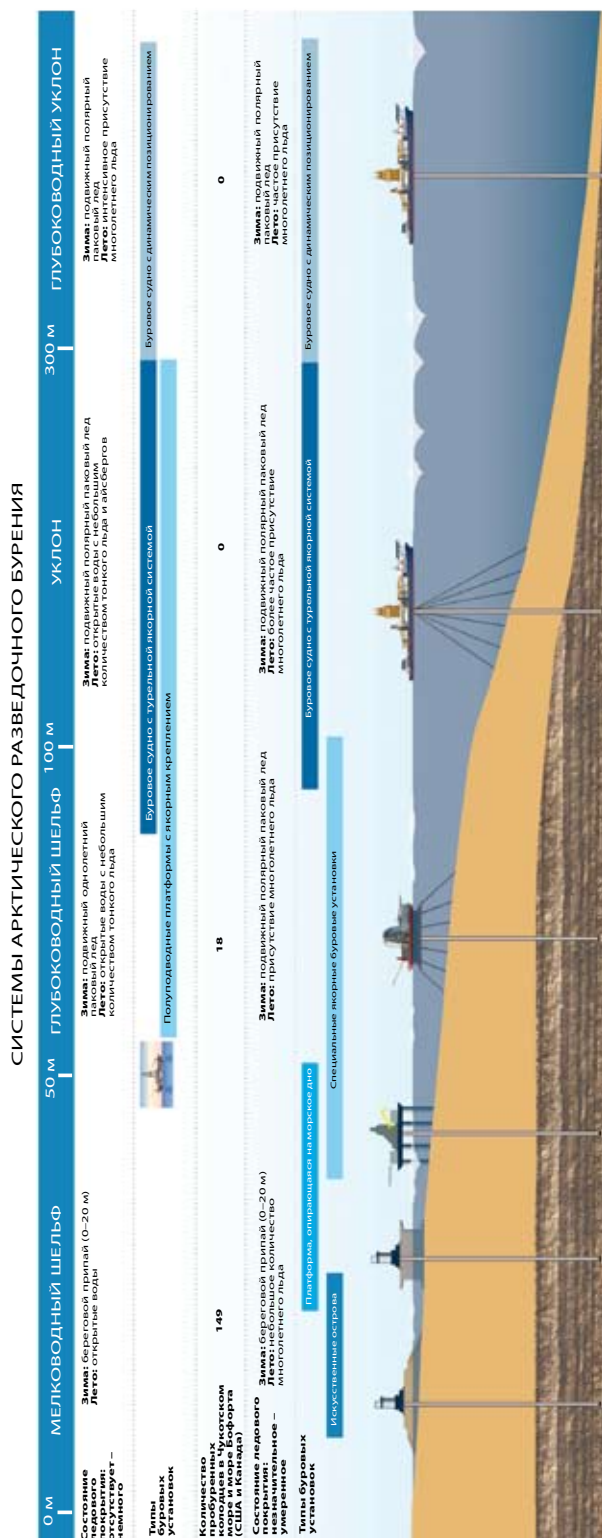


Рисунок 4. Примеры конструкций с гравитационным основанием и конструкций башенного типа*



* Слева направо платформы: Hebron, «Сахалин-2», Hibernia.

Рисунок 5. Некоторые виды танкеров, работающих в водах Арктики



Ледокольный танкер двойного действия Темрега



Нефтеотгрузочная платформа якорного типа в заливе Де-Кастри

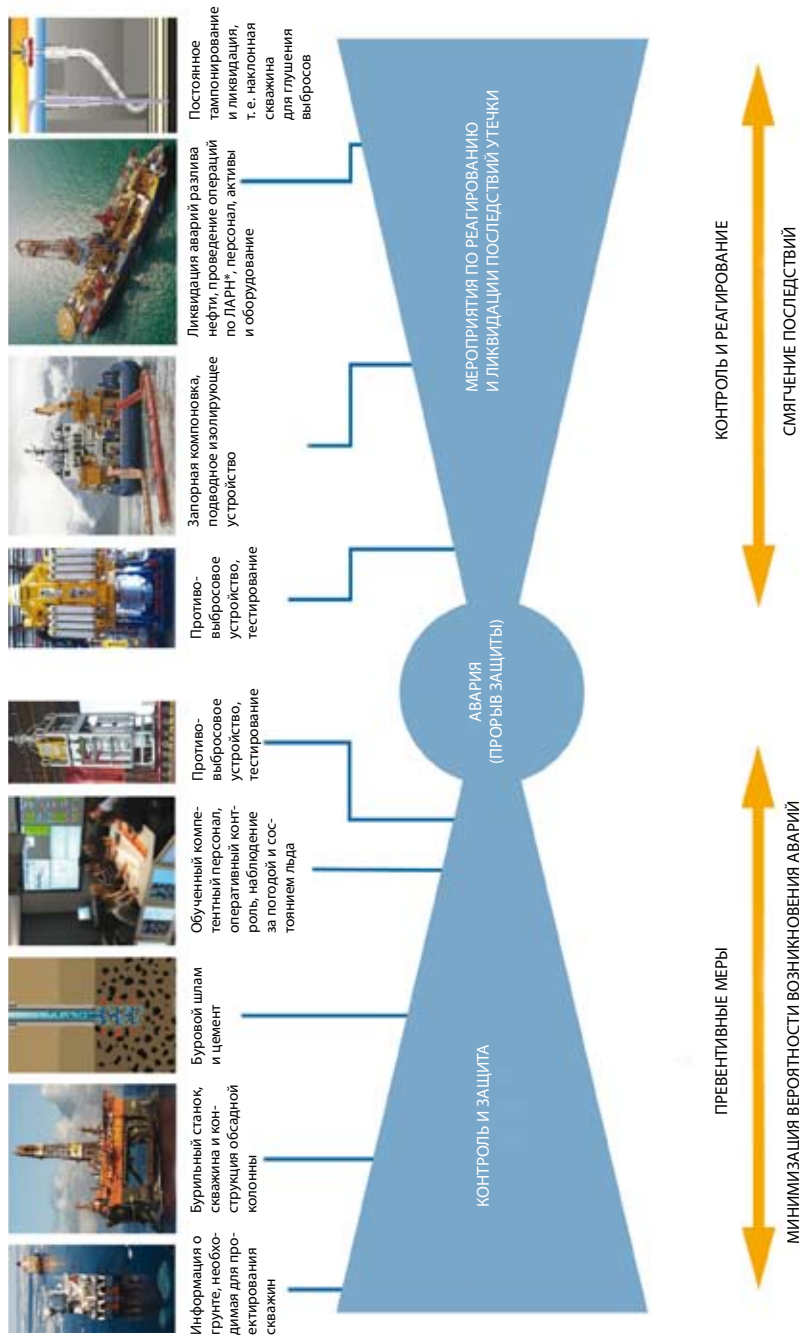


Загружающийся танкер у терминала Варандей



Отгрузочная линия по перекачке нефти на танкер – нефтяная платформа «Приразломная» в Печорском море

Рисунок 6. Предотвращение разливов нефти при бурении на шельфе, технологии контроля и реагирования и их применение



* ЛАРН — ликвидация аварийных разливов нефти.

Рисунок 7. Оценка и управление рисками

МАТРИЦА ОЦЕНКИ РИСКОВ

Степень ущерба	Последствия				Рост вероятности аварий				
	Люди	Активы	Окружающая среда	Репутация	A	B	C	D	E
					Никогда не получали сведений в данной отрасли	Известно в данной отрасли	Случалось в организации или чаще одного раза в год в данной отрасли	Случалось в данном месте или чаще одного раза в год в организации	Случалось чаще одного раза в год в данном месте
0	Без повреждений и вреда для здоровья	Без ущерба	Без последствий	Не оказывает влияния					
1	Незначительное повреждение или вред для здоровья	Незначительный ущерб	Незначительные последствия	Незначительное влияние					
2	Несерьезное повреждение или вред для здоровья	Несерьезный ущерб	Несерьезные последствия	Несерьезное влияние					
3	Серьезное повреждение или вред для здоровья	Умеренный ущерб	Умеренные последствия	Умеренное влияние					
4	Постоянная полная нетрудоспособность или более 3-х несчастных случаев	Серьезный ущерб	Серьезные последствия	Серьезное влияние					
5	Более 3-х несчастных случаев	Огромный ущерб	Тяжелые последствия	Огромное влияние					

Обзор выполнен на основе следующих публикаций:

1. Йоханнессен О.М., Бобылев Л.П., Кузьмина С.И. и др. Изменчивость климата Арктики в контексте глобальных изменений // Вычислительные технологии. 2005. Т. 10. Спец. выпуск: Труды международной конференции и школы молодых ученых «Вычислительно-информационные технологии для наук об окружающей среде» (CITES 2005). Томск, 13–23 марта 2005 г. Ч. 1.
2. National Petroleum Council (2015), *Arctic Potential. Realizing the Promise of U.S. Arctic Oil and Gas Resources*. 2015. Part Two. Technology and Operations. – http://www.npcarcticpotentialreport.org/pdf/AR-Part_2-Final.pdf
3. Цветков М.В., Смирнова О.В., Гальяно Ф.Р. Система мониторинга ледовой обстановки и обеспечения безопасного судоходства по Северному морскому пути на базе интеллектуальной ГИС // Труды СПИИРАН. 2014. № 5 (36). – <http://proceedings.spiiras.nw.ru/ojs/index.php/sp/article/viewFile/1879/1708>
4. Нейман П.И. Особенности характеристик и применения авиационных РСА // Геоматика. 2011. № 3 (12).
5. Данилов А. И. Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной арктической зоне Российской Федерации. – <http://xpir.fcntp.ru/conference2015/theses/14.610.21.0006>

Тематические рубрики ежемесячного обзора

Аэронавтика и космос

Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство,
пищевая и химическая промышленность

Информационные и телекоммуникационные технологии и
вычислительная техника

Исследования в области ядерной и квантовой физики

Медицинские технологии и оборудование

Нанотехнологии и новые материалы, микроэлектроника

Социальные и экономические науки и статистика

Энергетика и транспорт