

## ИЗУЧЕНИЕ АЙСБЕРГОВЫХ УГРОЗ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

В ряду природных угроз, существенных для морской деятельности в Арктике, наиболее значительными являются опасные ледовые явления и процессы: торосы, стамухи, большие ледяные поля, айсберги, ледовые сжатия и др. Они создают значительные риски для надводного и подводного мореплавания, стационарных морских сооружений, для подводных объектов (трубопроводы, кабельные системы).

У нашей страны накоплен огромный опыт мореплавания и его гидрометеорологического обеспечения на акватории Северного морского пути начиная с 1920 годов. Еще в довоенное время в короткие сроки была создана сеть полярных станций, система регулярных авиационных ледовых разведок, научная и информационная основа гидрометеорологического обеспечения (ГМО) в Арктике. Последующее развитие системы ГМО, особенно с появлением космических средств наблюдений, создание мощных дизельных и атомных ледоколов сделали судоходство в Арктике безопасным и способствовали повышению его экономической эффективности.

В наблюдениях основное внимание уделялось ледовым явлениям на судоходных трассах, которые затрудняли мореплавание и создавали для него угрозы, прежде всего в зонах дрейфующих льдов. Это протяженность морского льда, размеры ледяных полей, их возраст (толщина), торосистость и др. В их число входили айсберги, их обломки и куски. Айсберги имеют материковое происхождение, встречаются на акватории замерзающих морей в зонах судоходства значительно реже, чем другие опасные ледовые образования. Учитывая сезонный характер арктического судоходства и его невысокую активность, на протяжении длительного времени айсберговые угрозы находились на периферии отечественных научных исследований. Ситуация изменилась в конце 1990-х и в начале 2000-х годов, когда начались работы и исследования на лицензионных участках нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе наших ведущих энергетических компаний ПАО «Газпром» и ПАО «НК Роснефть». В рамках этих работ достигнут очень большой прогресс и пройден путь от исследований до проектирования систем управления ледовой обстановкой, которые, прежде всего, ориентированы на решение проблемы айсберговой опасности в районах проектируемых стационарных морских сооружений (добычные платформы, терминалы). Набор новых методов и технологий решений айсберговых угроз был разработан в рамках государственных программ и проектов [1].

Основные направления исследований последних двух десятилетий включали:

- изучение выводных ледников и оледенения на архипелагах и островах Российской Арктики, которые продуцируют айсберги;
- создание баз данных по айсбергам на основе исторических и современных наблюдений;
- разработка методов обнаружения айсбергов;
- определение морфометрии и динамики айсбергов;
- эксперименты по буксировке;
- создание аппаратно-программных комплексов, включающих методы обнаружения айсбергов, прогноза их движения для целеуказания судам ледовой защиты.

### Образование айсбергов

Источниками айсбергов в российских арктических морях являются архипелаги Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля (о. Северный), Северная Земля и некоторые острова.

Образование айсбергов происходит от ледников трех типов — ледниковых куполов, выводных и шельфовых ледников. Ледниковые купола наиболее распространены на ЗФИ и Шпицбергене, о. Ушакова и Виктория. Выводные ледники присутствуют на всех трех архипелагах. Шельфовые ледники в бассейне Баренцева моря имеются в настоящее время только на ЗФИ. В краевых прибарьерных частях куполов, обрывающихся в море, скорости движения льда составляют до 6–8 м/год. В выводных ледниках скорость движения льда лежит в диапазоне от нескольких десятков (Новая Земля, ЗФИ) до нескольких сотен метров в год (Шпицберген) [2].

Для российских арктических архипелагов и островов наибольший айсберговый сток наблюдается в июле-августе. При этом для ЗФИ максимальный айсберговый сток отмечается в августе, а для Новой Земли — с июня по август. Максимальный айсберговый сток на ледниках Шпицбергена, согласно общепринятым оценкам, наблюдается в августе-сентябре. Распространение айсбергов от мест образования может быть затруднено и ограничено местной батиметрией (глубины у ледников и во фьордах, наличие отмелей и подводных порогов, отделяющих фьорды от моря). Крупные айсберги могут сесть на мель в прибрежных мелководных районах и оставаться там длительное время, вплоть до разрушения. Большинство небольших айсбергов, обломков и кусков айсбергов, отколовшихся во фьорды Шпицбергена, разрушаются там же, не доходя до открытого моря. Наблюдения в заливе Русская Гавань (Новая Земля) показали, что открытого моря достигают лишь единичные экземпляры (т.е. менее 1 % от образовавшихся айсбергов и более мелких фракций).

Между морфометрическими параметрами айсберга и породившим его ледником существуют определенные зависимости. В самом общем виде эти закономерности можно описать так: наиболее крупные столообразные айсберги (несколько сотен метров в поперечнике) порождаются шельфовыми ледниками и ледяными куполами. Число таких айсбергов, как правило, невелико. Расположенные во фьордах выводные ледники продуцируют айсберги меньших размеров и зачастую неправильной формы. Активные ледники производят большое количество айсбергов малых размеров и неправильной формы; количество айсбергов от малоактивных ледников меньше, но их размеры могут быть большими, чем от активных.

Изучение ледников в прежние годы имело, главным образом, фундаментальный характер как элемента арктической криосферы, индикатора климатических изменений. Их айсбергообразующая функция интенсивно изучается с конца 1990-х годов в контексте айсберговых угроз шельфовым сооружениям. В рамках проекта Штокмановского ГКМ были обследованы наиболее активные ледники, выходящие в Баренцево море [2]. Работы ПАО «НК Роснефть» ориентированы на ледники, образующие айсберги в морях Карское и Лаптевых.

В 2007 году экспедиционная программа по Штокмановскому ГКМ была полностью ориентирована на изучение

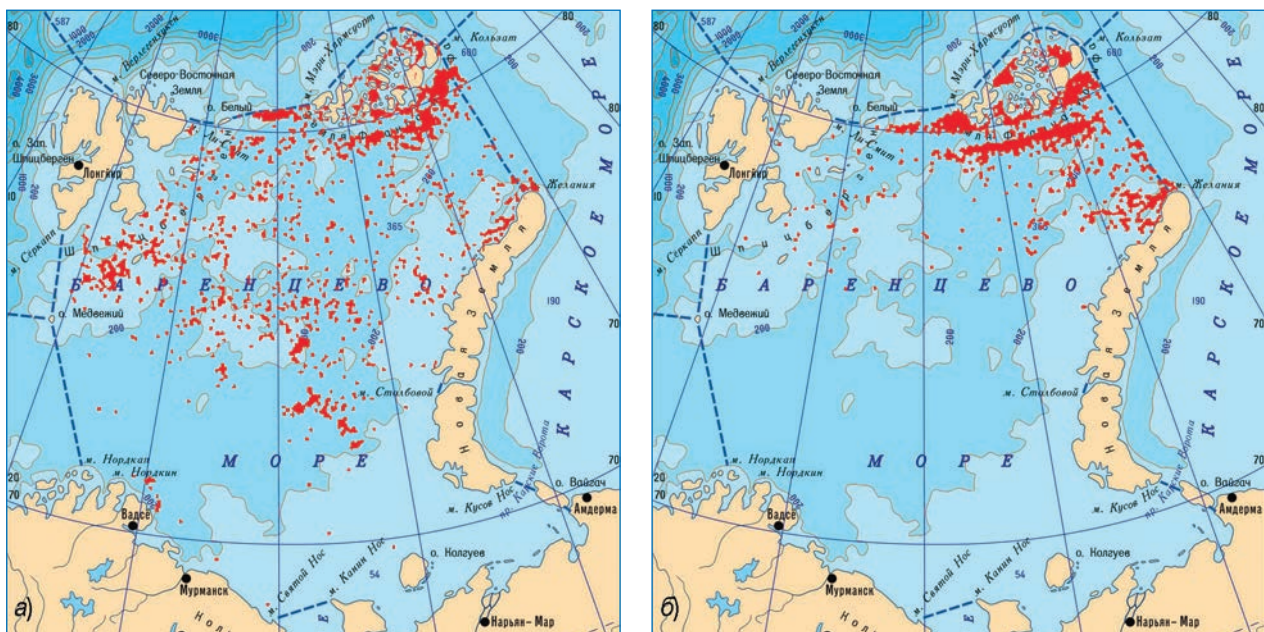


Рис. 1. Местоположение айсбергов, их обломков и кусков, обнаруженных в Баренцевом море в апреле–мае (а) и в сентябре (б) в период с 1928 по 2007 год.

фронтальных зон выводных ледников и мониторинг айсбергов. Большая часть исследовательских работ экспедиции «Штокман-2007» (период проведения — апрель–май 2007 года) была выполнена в районе выводных ледников арх. Земля Франца-Иосифа и о. Новая Земля, причем наблюдения охватывали существенно большее число ледников, чем наблюдения 2003–2006 годов [2].

Кроме того, в 2007 году в рамках Международного полярного года (МПГ) наблюдения за айсбергами проводились в сентябре (экспедиция «Сомов–лето – МПГ-2007»). В результате этих исследований были определены районы образования и компактного скопления больших столообразных айсбергов: 1) залив Елены Гульд о. Земля Вильчека, 2) проливы между о. Солсбери, Луиджи, Чамп; 3) залив Географов о. Земля Георга. Глубины в этих районах превышают 100 м. Большинство из обнаруженных айсбергов находились на плаву [3].

В последние годы системные исследования ПАО «НК Роснефть» фронтальных ледников Новой Земли, айсбергов Карского моря позволили заложить научные и практические основы для создания в этой области систем управления ледовой обстановкой. В экспедициях компаний был собран большой объем информации об окружающей среде арктических морей [4].

### Наблюдения за айсбергами

В начале 2000 годов в АНИИ была создана база данных по айсбергам Баренцева моря, включающая более 20 тысяч айсбергов, охватывающая период с 1928 по 2007 год [1]. В нее вошли данные визуальных авиаразведок с 1928 по 1991 год (положение, дата, количество...), данные судовых и авиационных наблюдений в более поздний период, которые включают количественные сведения о морфометрии (длина, ширина, высота и, в некоторых случаях, осадка). Создание базы данных и наблюдения инициированы проектом освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения. Все айсберги обнаружены севернее 70° с.ш. Только в двух случаях айсберги были обнаружены южнее. Обломок айсберга 10×20 м, высотой ~ 4 м был обнаружен восточнее о. Колгуев в 2003 году (рис. 1).

Экстремальным оказался 2003 год, когда на акватории Штокмановского ГКМ и вблизи него экспедиция АНИИ на НЭС «Михаил Сомов» зафиксировала 109 айсбергов и их обломков. Горизонтальные размеры по визуальным и инструментальным данным от 10 до 450 м, высота от 3 до 10 м над

уровнем моря. Айсберги оставались в центральной части моря в летний период. Столь глубокое южное вторжение айсбергов обусловлено продолжительными (несколько месяцев) ветрами северных направлений. В пределах Штокмановского ГКМ был зафиксирован айсберг массой 3,7 млн т. (рис. 2). В наблюдениях XX века отмечали айсберги более 1 млн т. Айсберг-гигант заставил изменить концепцию надводного сооружения. Было предложено судно-платформа, которое может в случае неустраиваемого столкновения с айсбергом отойти от опасной траектории. Это событие выходит за пределы векового (раз в 100 лет), однако насколько (раз в тысячу, в десять тысяч лет), оценить едва ли возможно, особенно в условиях значительных современных климатических изменений в Арктике. В любом случае проектировщики будущих морских сооружений в Центральной Арктике вынуждены считаться с айсбергом 2003 года.

В 2010 году начались исследования и работы на лицензионных участках ПАО «НК Роснефть», в которых проблема ледовых айсберговых угроз занимает одно из центральных мест. В короткие сроки с использованием судовых, авиационных и космических наблюдений были получены уникальные данные об айсбергах, прежде всего морей Карского и Лаптевых. Подготовка к обеспечению разведочного бурения на Университетской структуре Карского моря в 2014 году включала обобщение исторических данных и наблюдения с помощью современных средств, включая космический мониторинг. Летом 2013 года были проведены масштабные судовые экспедиции на а/л «Ямал» и ледоколе «Капитан Драницын», авиационные наблюдения с самолета Ил-18 и вертолета. Основным источником айсбергов в этой части Карского моря являются ледники арх. Новая Земля, которые активно продуцируют образования различных размеров. Наиболее крупные айсберги длительное время остаются на мели и разрушаются на более мелкие части. Они активно разрушаются в летний период, особенно в последние годы, когда температура воздуха и поверхностных вод заметно превышает норму. Организация регулярных наблюдений за айсбергами даже в ограниченных локальных областях является непростой и весьма затратной задачей.

### Методы наблюдений и обнаружения айсбергов

Основная масса исторических данных об айсбергах получена в результате визуальных авиационных разведок и судовых наблюдений на трассах СМП. Это, безусловно, очень важ-



ные данные, позволяющие оценить географию и даже годовую изменчивость. Судовые и авиационные наблюдения по-прежнему используются в качестве основных в районах добычи, в частности на Большой Ньюфаундлендской банке в Канаде. Ледовый патруль береговой охраны США проводит регулярные авиаразведки для обнаружения и картирования айсбергов [5].

В настоящее время основным средством наблюдений становится космическое зондирование, с помощью которого можно получить оперативную информацию пространственно-распределения, дрейфа объектов (с использованием дрейфующих буев).

Вероятность обнаружения айсбергов с помощью спутниковых средств наблюдений зависит от размеров и формы объекта, пространственного разрешения аппаратуры. Есть особенности обнаружения айсбергов на открытой воде, в дрейфующем льду и в припае, что обуславливает использование различных методик. Наиболее эффективным является использование данных зондирования в различных диапазонах спектра [5]. Особо следует выделить данные спутниковых радаров с синтезированной апертурой. В районах морских сооружений необходимо сочетать спутниковые средства, ледовые радары на сооружениях, пилотируемую и беспилотную информацию.

Россия в настоящее время не располагает космическими средствами с радиолокационной аппаратурой. Существует проект создания многоцелевой космической системы «Арктика», включающей отечественный радиолокатор высокого пространственного разрешения. В целях практического обеспечения морской деятельности используются зарубежные аппараты RADARSAT-1, RADARSAT-2, ERS и другие.

В АНИИ разработана методика обнаружения айсбергов с использованием всепогодного радиолокационных данных в сочетании с данными видимого диапазона при благоприятных безоблачных условиях. Разработанная на ее основе технология позволяет проводить оперативное обслуживание клиентов тематической информацией об айсберговой опасности в режиме «квазиреального» времени. В течение нескольких часов после съемки данные о положении айсбергов на момент съемки и прогноз их перемещения могут быть переданы потенциальным пользователям [6].

Технология успешно использовалась при обеспечении разведочного бурения летом 2014 года на Университетской структуре в Карском море (ПАО «НК Роснефть»).

Существуют средства и методы определения времени и места события откола айсберга, которое отражается в акустическом и сейсмическом полях [1]. Такой сейсмоинфраз-

Рис. 2. Айсберг-гигант на Штокмановском ГКМ (Баренцево море, 2003 год).  
Фото из архивов АНИИ.



вуковой мониторинг, в случае необходимости, может использоваться для самого раннего обнаружения образования, особенно крупных айсбергов.

### Определение морфометрии и динамики айсбергов

Морфометрия айсбергов (длина, ширина, возвышение над водой, осадка, форма) определяются в полевых условиях в научных и инженерно-изыскательских экспедициях с помощью различного вида съемок. Это позволяет определить массу айсбергов, в случае необходимости — трехмерный объем. Аэрофотосъемка позволяет собрать данные о надводной части айсбергов на значительной акватории моря. Динамика и траектория движения определяются с использованием дрейфующих буев, установленных на айсбергах. В Баренцевом море были проведены эксперименты с использованием более 50 дрейфующих буев, позволившие надежно определить требуемые для проектирования скорости айсбергов [2]. Подобные исследования выполнены в последние годы на лицензионных участках ПАО «НК Роснефть» в морях Карском и Лаптевых. Данные необходимы для «настройки» прогностических моделей динамики и эволюции айсбергов, которые используются в гидрометеорологическом обеспечении морских операций. Как правило, это прогнозирование на срок от 1 до 7 суток, которое основывается на метеорологическом прогнозе и расчетах морских течений [7]. Комплекс таких методов успешно использовался в Баренцевом и Карском морях. Успешность расчетов определяется предсказуемостью метеорологических процессов (до недели). Обычно применяется набор инструментов: региональная метеорологическая модель, модели динамики вод, льдов и айсбергов, использующие данные оперативных наблюдений.

### Эксперименты по буксировке айсбергов

Эффективно применяются методы смещения айсберга с опасных территорий с использованием судов, главным образом буксировка с использованием канатов и сеток. Большой практический опыт имеется у Канадской ледовой службы [5]. Российский опыт пока ограничивается несколькими экспериментами. В 2006 году НЭС «Михаил Сомов» провел несколько буксировок айсбергов массой до нескольких сотен тысяч тонн в рамках проекта освоения Штокмановского ГКМ (рис. 3).

В 2016 году впервые в России была проведена экспедиция «Кара-лето-2016», организованная ПАО «НК Роснефть» с участием Арктического научного центра и АНИИ, в которой всесторонне отрабатывалась технология изменения траектории дрейфа айсбергов путем внешнего воздействия. Было выполнено 18 экспериментов по буксировке объектов раз-

Рис. 3. Буксировка айсберга НЭС «Михаил Сомов» в Баренцевом море.  
Фото из архивов АНИИ.



личных форм и размеров в разных погодных условиях. С помощью ледокола «Капитан Драницын» айсберги были отбуксированы с разворотом направления движения на 90 и 180° относительно их первоначальной траектории. В одном случае смещались два айсберга одновременно.

В одном из экспериментов масса айсберга превышала 1 млн т. Исследования, начатые ПАО «НК Роснефть» в 2012 году, привели к созданию в 2016 году отечественной технологии управления ледовой обстановкой (УЛО) [8].

### **Обеспечение гидрометеорологической безопасности как часть системы УЛО**

Специализированное гидрометеорологическое обеспечение морских объектов является обязательным компонентом, оно необходимо для их безопасной и экономичной работы. В настоящее время в Росгидромете успешно функционирует система «Север», которая включает Центр ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ), находящийся в ААНИИ, а также территориальные управления гидрометеорологической службы. ЦЛГМИ собирает информацию от космических аппаратов, наземных пунктов, с судов и готовит диагностическую и прогностическую информацию для различных потребителей. В частности, обеспечивает работы МЛСП «Приразломная», Варандейского отгрузочного терминала, зимнее плавание транспортных судов компании «Норильский Никель», крупнотоннажных танкеров в Татарском проливе (проект «Сахалин-1») и т.п. Летом 2014 года ЦЛГМИ ААНИИ участвовал в гидрометеорологическом обеспечении разведочного бурения на структуре Университетская в Карском море.

В последние годы в ААНИИ в рамках Соглашения с Минобрнауки России созданы экспериментальные программно-аппаратные комплексы (ЭЛПК) для мониторинга и прогнозирования ледовых условий, айсбергов, климата, атмосферы, мониторинга сейсмических условий в Западной арктической зоне РФ. В частности, разработанный метод обнаружения айсбергов, основанный на анализе оперативной спутниковой информации, позволяет получать в режиме квазиреального времени объективную информацию о текущем положении и параметрах айсбергов и обеспечивает повышение достоверности прогностических оценок дрейфа айсбергов [1].

### **Заключение**

В настоящее время наша страна располагает всеми основными компонентами для создания систем управления ледовой обстановкой в нужных районах Арктики. Есть инструменты, позволяющие обнаруживать, наблюдать и прогнозировать движение айсбергов и давать судам ледовой защиты целеуказания по объектам, опасным для сооружения. Есть технология смещения айсбергов с опасных траекторий.

Облик системы УЛО для конкретного района и ее эффективность будут зависеть от айсбергового режима, количества айсбергов, их размеров и других гидрометеорологических параметров. Эти факторы определяют количество судов ледовой защиты, их базирование, необходимость привлечения мощных атомных ледоколов, а также облик систем наблюдения за айсбергами и, в случае необходимости, за фронтальными ледниками.

Несколько айсбергов в течение года или же за одни сутки потребуют совершенно различных решений системы УЛО. Безусловно, в ближайшей перспективе необходимо решение вопросов о российских судах для ледовой защиты, а также о разработке систем диспетчеризации для оптимизации их использования в районах морских сооружений с айсберговой опасностью.

### **Список литературы**

1. Дмитриев В.Г., Данилов А.И. Инновационные технологии мониторинга гидрометеорологической обстановки на арх. Шпицберген и в Западной арктической зоне России // Российские полярные исследования. 2015. № 1 (19). С. 27–30.
2. Бузин И.В. и др. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет. Ч. 1. Основные продуцирующие ледники, распространение и морфометрические особенности айсбергов. Ч. 2. Дрейф айсбергов по натурным данным // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 1 (78). С. 66–89.
3. Экспедиционные исследования в период международного полярного года 2007/08. Т. 1. Экспедиции 2007 г. / Под редакцией А.И. Данилова. СПб.: ААНИИ, 2008. 234 с.
4. Атлас ледовых и гидрометеорологических условий морей российской Арктики. М.: ЗАО Издательство «Нефтяное хозяйство», 2015. 128 с.
5. Смирнов В.Г. Спутниковый мониторинг опасных ледяных образований в районах экспедиционных работ на морских месторождениях углеводородного сырья // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 1 (91). С. 103–120.
6. Миронов Е.У., Смирнов В.Г., Бычкова И.А., Кулаков М.Ю., Демчев Д.М. Новые технологии обнаружения айсбергов и прогнозирования их дрейфа в западном секторе Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 21–32.
7. Смирнов В.Г., Бычкова И.А., Кулаков М.Ю. Разработка аппаратно-программного комплекса мониторинга айсбергов и прогноза их дрейфа (включая предупреждение айсберговой опасности) в зоне арх. Шпицберген и в западной арктической зоне РФ // Российские полярные исследования». 2016. № 4 (26). С. 34–35.
8. Роснефть опробовала технологию буксировки крупных айсбергов. URL: [http://www.gazeta.ru/buisness/news/2016/10/10n\\_9203387.shtml](http://www.gazeta.ru/buisness/news/2016/10/10n_9203387.shtml) [дата обращения 01.11.2016]]

*А.И. Данилов (ААНИИ)*

## **АЙСБЕРГОВАЯ «ВАКХАНАЛИЯ» 2016 г. В РАЙОНЕ СТАНЦИИ ПРОГРЕСС**

Оазис Холмы Ларсеманн (Земля Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида) был открыт в феврале 1935 года экипажем танкера «Торсхавн» норвежской китобойной экспедиции Ларса Кристенсена. После посещения 19 февраля оазиса Вестфолл капитан танкера Клариус Миккельсен с матросами и своей женой (!) Каролиной высадили здесь, присвоив берегу имя супруги хозяина — Ингрид Кристенсен. Оазис напоминает ладонь с растопыренными пальцами — 5 основными скалистыми полуостровами с фьордовыми бухтами между

ними. Мористее располагается архипелаг Бёлинген из сотни мелких островков.

Российские полярники впервые познакомились с этим районом 30 ноября 1956 года во время рекогносцировочного полета на Ил-12 из Мирного вдоль побережья на запад до 74° в.д. Как говорят, уже тогда оазис Холмы Ларсеманн в сравнении с Мирным очень приглянулся Е.С. Короткевичу — будущему многолетнему заместителю директора ААНИИ по антарктическим исследованиям и начальнику САЭ. В середи-