

## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ЭКСПЕДИЦИИ «АРКТИКА-2007»

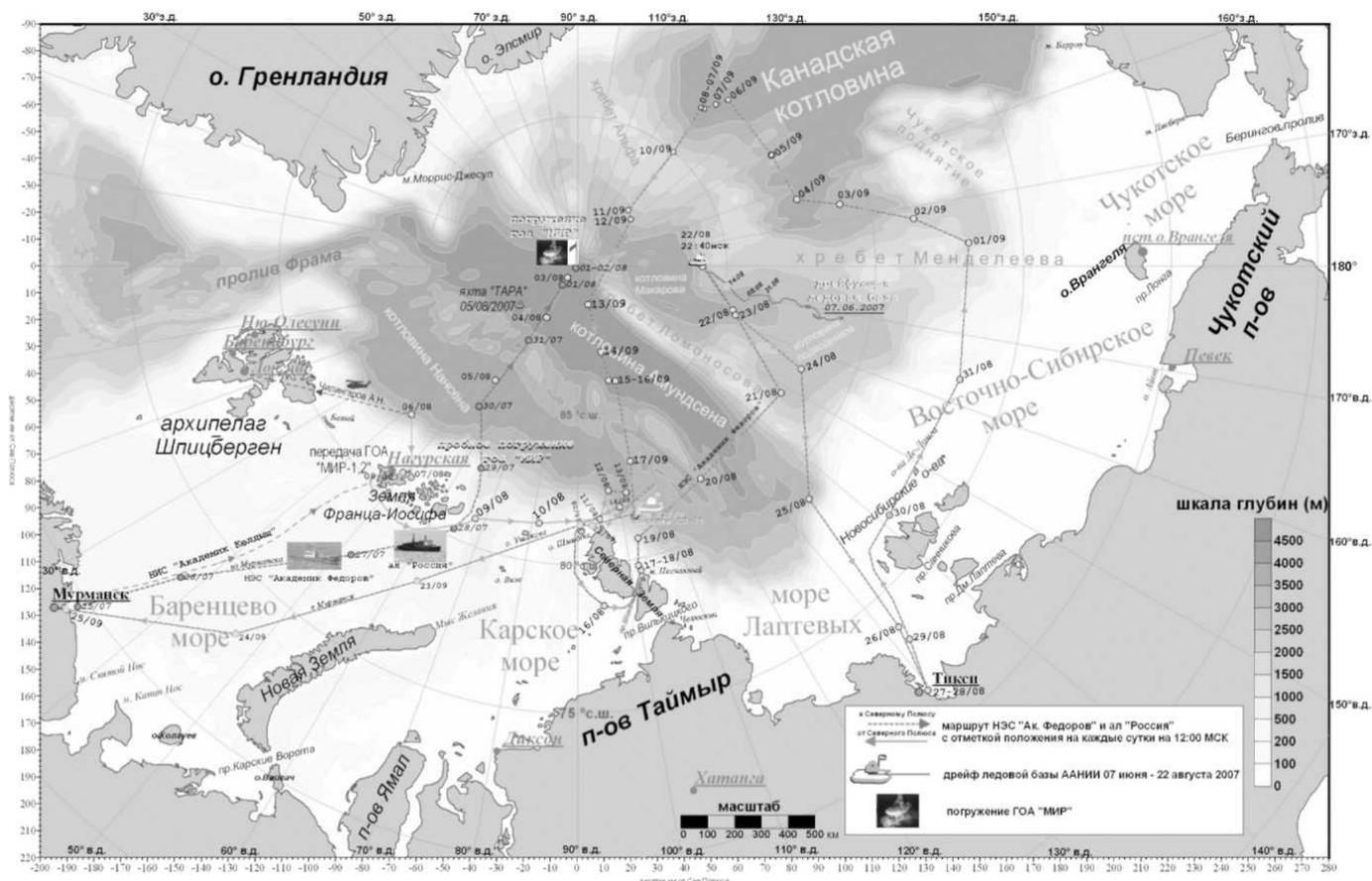
В. Т. СОКОЛОВ, И. М. АШИК (АНИИ)

Высокоширотная экспедиция «Арктика-2007» на борту НЭС «Академик Федоров», организованная Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом Росгидромета, не имеет отечественных аналогов по масштабам исследований высокоширотной Арктики с использованием судна. Экспедиция выполнялась в рамках мероприятий и проектов МПГ 2007/08, оперативно-производственных и научных задач Росгидромета в Арктике.

В последние десятилетия в природных условиях Арктики произошли значительные изменения. В Арктике стало отмечаться значительное увеличение частоты прохождения и интенсивности циклонов, приведшее в итоге к повышению температуры воздуха и увеличению количества осадков. На фоне этого потепления чаще стала проявляться эк-

стремальность погодных явлений: увеличиваются максимумы и минимумы температуры, чаще происходят резкие перепады температуры и давления воздуха, увеличивается количество осадков, чаще наблюдаются штормовые ветры. Площадь и толщина ледяного покрова уменьшаются, растет температура воды в поверхностном слое и в слое атлантических вод и пр. Наблюдающиеся изменения в Арктике требуют переоценки существующих взглядов на арктические природные процессы и деятельность человека за Северным полярным кругом.

Основная научная цель Программы высокоширотной экспедиции «Арктика-2007» - получить комплексную информацию, основанную на данных прямых наблюдений и измерений, о состоянии природной среды высоких широт Арктики и процессах, в ней протекающих.



Карта маршрута НЭС «Академик Федоров» (карта подготовлена А.Л.Гармановым)

Главные задачи экспедиции, работавшей на борту НЭС «Академик Федоров» в ходе выполнения программы «Арктика-2007», состояли в получении новых данных о следующем:

- гидрометеорологических процессах в климатически активных районах Арктического бассейна СЛО и арктических морей, их взаимодействии с Се-веро-Европейским бассейном СЛО, Атлантическим и Тихим океанами;
- метеорологических, гидрологических и гидрохимических условиях, сложившихся в Арктическом бассейне СЛО и арктических морях в начале XXI века;
- радиационных процессах в системе атмосфера-морской лед-верхний слой моря;

- структуре и динамике ледяного покрова Арктического бассейна СЛО;
- эксплуатационных характеристиках НЭС при плавании по чистой воде и в предельных ледовых условиях;
- составе осадков и глубинном геологическом строении дна Арктического бассейна СЛО, материкового склона и строении окраинных желобов;
- состоянии популяций морских птиц высокоширотных островов и акваторий Российской Арктики.

Для реализации указанных задач в составе экспедиции было сформировано девять отрядов: океанографический, метеорологический, ледоисследовательский, отряд изучения ледовых качеств судна, геологический, гидрографический,

биологический, специализированного гидрометеорологического обеспечения (СГМО) и группа по установке автоматизированных дрейфующих станций. Всего в научном составе Морского отряда экспедиции в разные этапы работало 58 человек, кроме этого 8 человек работали в научно-техническом составе экипажа судна.

Экспедиция «Арктика-2007» состояла из пяти этапов: на первом этапе (10-24 июля) НЭС «Академик Федоров» совершило переход из Санкт-Петербурга в Балтийск, где на борт судна были погружены глубоководные обитаемые аппараты «Мир-1» и «Мир-2» и обслуживающий их персонал из числа сотрудников ИО РАН. После этого в порту Киль на борт судна были погружены автоматизированные измерительные комплексы, предназначенные для последующей установки на дрейфующих льдах Арктического бассейна. Затем, обогнув Скандинавию, судно прибыло в порт Мурманск, где на его борт поднялся Морской отряд экспедиции, состоявший преимущественно из сотрудников ААНИИ.

Второй этап экспедиции (25 июля-7 августа) связан с работой на борту НЭС «Академик Федоров» Высокоширотной арктической глубоководной экспедиции (начальник А.Н.Чилингаров). Пройдя через восточную часть Баренцева моря, судно вышло к северо-востоку от архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), где 29 июля прошло пробное погружение ГОА «Мир». После успешного завершения спусков НЭС «Академик Федоров» под проводкой атомного ледокола «Россия» направилось к Северному полюсу и достигло его 1 августа. 2 августа 2007 г ГОА «Мир-1» и «Мир-2» впервые в истории полярных исследований совершили погружение в точке географического Северного полюса и установили на дне Государственный флаг РФ. 7 августа в проливе Кэмпбелл (ЗФИ) НЭС «Академик Федоров» встретилось с НИС «Мстислав Келдыш». ГОА «Мир» были перегружены на борт НИС, и проведена ротация части экспедиционного состава.

Основным содержанием третьего этапа экспедиции (8-28 августа) стало выполнение масштабных комплексных исследований природной среды высокоширотной Арктики. В этот период выполнены исследования в районе материкового склона морей Карского и Лаптевых, проведены работы в районе желобов Святой Анны и Воронина, в проливе Шокальского, осуществлены геологические и орнитологические исследования на островах ЗФИ, Северной Земли, на о. Ушакова. На завершающей фазе этапа (22-23 августа) прошла эвакуация станции «Ледовая база», дрейфовавшей в Арктическом бассейне СПО на протяжении двух месяцев.

28 августа НЭС «Академик Федоров» прибыло в порт Тикси, где на борт судна загрузился основной состав дрейфующей станции «Северный полюс-35» и была осуществлена частичная ротация личного состава экспедиции.

Главной задачей четвертого этапа экспедиции (29 августа - 25 сентября) стал поиск ледяного поля для организации дрейфующей станции СП-35 и работы по ее строительству. НЭС «Академик Федоров» осуществило переход из Тикси через восточную часть моря Лаптевых, северную часть морей Восточно-Сибирского и Чукотского в район к северу от о. Врангеля. Так как обследование ледяных полей, первоначально намеченных для высадки дрейфующей станции, показало их полную непригодность, судно под проводкой атомного ледокола «Россия» вошло в ледяной массив Канадского сектора Арктики и продолжило поиск в этом районе. Поиск, в процессе которого был обследован



Лагерь «Ледовой базы» перед



Выполнение глубоководной океанографической



Рабочий визит к французским коллегам на яхту «Тара»

ледяной покров на площади 311 тыс. км<sup>2</sup>, завершился 18 сентября, когда в точке с координатами 81°26' с.ш., 103° 02' в.д. было обнаружено ледяное поле, признанное годным для размещения на нем лагеря дрейфующей станции СП-35. 21 сентября работы по выгрузке оборудования станции были закончены, и НЭС «Академик Федоров» взяло курс на Мурманск, куда прибыло 25 сентября и где личный состав экспедиции покинул НЭС.

На завершающем пятом этапе экспедиции НЭС «Академик Федоров» совершило переход из Мурманска в Санкт-Петербург, прибыв в порт приписки 3 октября. За период рейса судно прошло 14 447 миль, в том числе 4 925 миль в тяжелых арктических льдах.

В ходе работ экспедиции «Артика-2007» получены научные результаты, позволяющие качественно и количественно оценить состояние природной среды Арктики начала XXI века и уточнить существующие представления о механизмах их формирования.

На акватории Арктического бассейна СЛО и арктических морей было выполнено 243 зондирования водных масс, из них: 96 глубоководных судовых океанографических станций с отбором проб воды для последующих гидрохимических определений, 47 океанографических станций со льда, 100 станций с борта судна обрывными зондами.

В ходе гидрохимических исследований выполнено: 861 определение силикатов, 861 определение фосфатов, 853 определения кислорода, 263 определения pH, отобрано 263 пробы для последующего определения общей щелочности.

Предварительный анализ полученных данных позволяет утверждать, что по сравнению с 2004-2005 гг в западной части Арктического бассейна СЛО температура ядра атлантических вод возросла на 0,5 °С, а толщина их слоя возросла на 100-150 м преимущественно за счет увеличения глубины распространения. В восточной части Арктического бассейна СЛО существенных изменений в состоянии атлантических вод не зафиксировано. Практически повсеместно отмечается значительное распреснение поверхностного слоя, связанное, очевидно, с интенсивным таянием ледяного покрова, ростом количества атмосферных осадков и увеличением стока рек, впадающих в СЛО. Необходимо отметить, что летом 2007 г. произошло очищение ото льда огромных акваторий арктических морей и Арктического бассейна СЛО, в результате чего поверхностный слой вод на севере Восточно-Сибирского и Чукотского морей, районах, обычно покрытых льдом, прогрелся до 5-7 °С. Таким образом, в арктических морях и на значительной части Арктического бассейна СЛО сформировались большие запасы тепла, что не может не оказать влияния как на гидрологические, так и ледовые условия этих акваторий.

По предварительным оценкам гидрохимических исследований состава вод СЛО можно утверждать, что исследуемый район СЛО является стоком для атмосферного CO<sub>2</sub>. Обнаружено, что на материковом склоне севернее архипелага Северная Земля происходит вентиляция вод, охватывающая водную

толщу в интервале глубин 700-1500 м. По предварительным оценкам «след» вентиляции может наблюдаться до 87° с.ш. Характер вертикальной изменчивости органических форм биогенных элементов обычный, концентрации органических фосфора и азота максимальны в поверхностном фотическом слое, а с глубиной убывают до аналитического нуля. Анализ изменчивости главных биогенных элементов в поверхностном слое позволяет сделать вывод, что первичная продукция в исследуемом районе СЛО лимитируется силикатами.

В ходе исследований теплофизических и радиационных свойств морского льда уточнены представления о физических и морфометрических характеристиках снежиц, в частности установлено, что вертикальные и горизонтальные градиенты температуры и солёности воды в снежицах имеют порядок 0,001 °С/см и 0,001 ‰/см, под снежицей имеется слой льда толщиной порядка 0,5 м с более высокой пористостью, температура которого практически постоянна, суточный ход температуры талой воды коррелирует с приходящей солнечной радиацией, альbedo снежиц имеет явно выраженную спектральную зависимость, существенно отличающуюся от альbedo фирна (в коротковолновой части спектра, до 700 нм, - в 2,02,5 раза, в длинноволновой, 700-900 нм, - в 78 раз), учет спектрального альbedo и спектрального распределения приходящей коротковолновой радиации может существенно изменить время начала таяния снега вследствие преимущественного поглощения длинноволновой радиации в самом верхнем слое снежного покрова, нормированная интенсивность приходящей под разными зенитными углами коротковолновой радиации имеет явно выраженный бимодальный характер даже при плотной сплошной облачности.

При исследовании свойств приледных слоев атмосферы и океана выполнены измерения течений в верхнем слое моря подо льдом. В период измерений наблюдалось формирование области повышенных величин течения в слоях 20-60 м, отмечалась выраженная периодичность значений скорости течения в слое 20-30 м с периодами колебаний 5-30 мин. Такое явление может быть вызвано возникновением внутренних волн в слое пикноклина, располагающегося на глубине 20-30 м. Градиенты солёности достигали больших значений - около 0,1 ‰/м. Такой градиент солёности дает оценку периода плавучести около 200-300 с, что обеспечивает возможность возникновения высокочастотных колебаний внутри пикноклина, наблюдаемых на полученных записях характеристик скорости течения. Также были обнаружены пульсации атмосферного давления в приледном слое с периодом порядка 10 мин. Пульсации имеют аперриодический характер и наблюдаются в виде нескольких колебаний за время порядка 1 ч. Для выяснения физической природы пульсаций необходим спектральный анализ данных измерений давления и ветра.

Трансарктический маршрут НЭС «Академик Федоров» позволил получить информацию о простран-

ственно-временном распределении и изменчивости газового состава атмосферы на обширных участках акватории СЛО в период летнего таяния. Была отмечена значительная пространственная и временная изменчивость этих элементов. При этом выявлена ярко выраженная широтная зависимость концентраций  $\text{CO}_2$  и озона в приповерхностном слое атмосферы: существенное возрастание концентраций обоих газов в северном направлении, от чистой воды к сплоченным льдам. В качестве объяснения данного факта, среди других, может быть предположение о различной роли открытой водной поверхности и ледяного покрова в формировании газового режима нижнего слоя атмосферы. Для  $\text{CO}_2$  это более интенсивное поглощение его водной поверхностью вследствие процессов фотосинтеза и увеличения его растворимости в воде при ее охлаждении. Для приземного озона причиной такого географического распределения может быть его разрушение в ходе фотохимических реакций, обусловленных поступлением в составе аэрозолей бромидов в приповерхностный слой воздуха.

Выполненные измерения общего содержания озона и интенсивности приходящей ультрафиолетовой радиации показали, что в период экспедиции обе величины имели ярко выраженные отрицательные тренды, обусловленные уменьшением солнечной инсоляции. Следует отметить, что точность оценок обеих характеристик, измеренных в основном в



Академик В.Е.Фортов измеряет толщину льда

условиях сплошной облачности и малых углах солнца, вероятно, весьма низка. Полученные данные требуют тщательной дополнительной обработки при участии специалистов ГГО. Только после этого возможен их серьезный анализ совместно с данными наблюдений на сети полярных озонметрических станций с целью выявления обусловленности пространственно-временной изменчивости общего содержания озона с геофизическими процессами в атмосфере. Следует отметить, что описанные выше наблюдения продолжены на дрейфующей станции «Северный полюс-35», где, совместно со спектральными измерениями озонметром М-124, производятся регулярные выпуски озонзондов.

При исследовании особенностей перераспределения коротковолновой (солнечной) радиации в Центральном Арктическом бассейне впервые использованы

современные полевые спектрометры с разрешением 4 нм и углах зрения 180 и 7°, позволяющие работать в условиях минимальной освещенности (при высоте солнца менее 2°). В ходе работ на ледовых станциях впервые получены экспериментальные оценки поглощенной в снежницах солнечной радиации и выявлена необходимость использования в термодинамических моделях снежно-ледяного покрова не менее двух градаций альbedo (для коротковолновой и длинноволновой частей спектра). Измерения приходящей коротковолновой радиации узкоугольным спектрометром выявили бимодальность интенсивности приходящей радиации, измеренной под разными углами к горизонту, даже в условиях сплошной плотной облачности.

В период нахождения судна в районах, покрытых льдом, велась визуальная и инструментальная фиксация параметров льда, два телеметрических комплекса осуществляли измерения толщины льда и регистрацию общей ледовой обстановки по курсу движения судна. Было проведено макро- и микрофотографирование срезов керна морского льда, микрофотографирование твердых атмосферных осадков, произведен отбор проб на изотопный анализ. Работы по изучению морфометрических характеристик ледяного покрова выполнялись на 37 ледовых станциях, при этом проведены измерения на 49 профилях длиной 25-50 м. Произведены отбор и обработка 12 кернов льда. Регулярно велись работы по обработке и архивации записей телеметрического комплекса, регистрирующего толщину льда и общую ледовую обстановку. В соответствии с программой изучения физико-механических свойств льда выполнено 83 измерения температуры кернов льда, построены температурные профили для трех кернов; 41 измерение плотности, построены профили плотности для трех кернов; 6 измерений солёности; изготовлено 6 шлифов структур морского льда. Отобраны 34 пробы солёности ровного льда, а также 20 образцов, предназначенных для изготовления шлифов.

Во время трех кратковременных вертолетных высадок на островах архипелагов ЗФИ и Северная Земля были проведены обследования территорий вблизи мест посадки вертолета с целью документации мерзлотных процессов в зонах, освободившихся в недавнем прошлом от ледникового покрова. Результаты кратковременных наблюдений можно обобщить следующим образом: наиболее активное развитие криогенных процессов наблюдается в непосредственной близости от фронта ледника, на территории, недавно освобожденной ото льда при деградации ледникового покрова; здесь наблюдаются криогенные разрушения и сортировка каменного материала, формируются полигональные формы поверхности, происходит пучение грунтов, на удаленных от ледника участках присутствуют аналогичные проявления мерзлотных процессов, однако формы рельефа находятся на более глубокой стадии развития.

Морские и сухопутные геологические исследования на акваториях морей Карского и Лаптевых, архипелагах

ЗФИ и Северная Земля выполняла объединенная группа сотрудников ПМГРЭ и ВНИИОкеангеология, при этом ведущая роль в производстве сухопутных работ была отведена ПМГРЭ, а в производстве морских работ - ВНИИО-кеангеология. В ходе геологических работ на островах Ламон, Вильчека, Земля Вильчека и Рудольфа (ЗФИ) обследованы мезозойские базальты и долериты с задачей уточнения их состава и возраста. На о. Шмидта отобраны палеонтологические образцы, изучение которых позволит уточнить природу зарождения и развития этого изолированного ледникового купола. В ходе облета ледяного о. Ушакова установлено отсутствие выходов горных пород, которые указаны в лоции Карского моря. На о. Октябрьской Революции (Северная Земля) с различной степенью детальности изучены выходы кембрийских метаосадочных пород, позднепалеозойских гранитов и мезозойских долеритов, геологическое положение и возраст которых остаются на сегодня неясными. В ходе исследований уточнены строение и масштабы проявлений некоторых полезных ископаемых: олова, железа, фосфора, редкоземельных металлов, поделочных и самоцветных камней. Выявлены также многочисленные факты, свидетельствующие об активном и широком движении крупных ледниковых масс в плейстоцене.

Морские геологические исследования экспедиции были сосредоточены на поднятии Менделеева, на континентальном склоне в районе арх. Северная Земля, во внешней зоне шельфа морей Баренцева, Карского и Лаптевых. В ходе работ выполнено 18 геологических станций, из них в 10 точках для донного пробоотбора использована грунтовая труба длиной 4 м и в 8 точках - дночерпатель. Таким образом, получены новые результаты по стратиграфии четвертичных отложений СЛО, континентального склона и шельфа морей Баренцева, Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. Отобраны пробы для палеомагнитных исследований, на гранулометрию, минералогию, органическое вещество, микрофауну, остракоды, споры и пыльцу, диатомовый анализ.

В ходе выполнения биологических работ обследовано 12 островов архипелагов ЗФИ и Северная Земля, совершены вертолетные облеты вокруг островов Ушакова, Вильчека и частично Шмидта. Острова Ламон (ЗФИ), Шмидта и Комсомолец, а также посещенные точки о. Октябрьской Революции (арх. Северная Земля) с орнитологической точки зрения были обследованы впервые. Всего на островах и непосредственно в прибрежной зоне зарегистрировано 16 видов птиц, для 8 доказано гнездование. На ЗФИ найдены крупнейшие из известных на архипелаге колонии полярных крачек с приблизительной численностью до 100-200 пар (острова Ламон и Ева-Лив).

По проекту «Белая чайка» получены уникальные материалы по распространению, численности и продуктивности вида на значительной части российского ареала. Найдены новые гнездовые колонии вида на островах Рудольфа и Комсомолец и, предположительно, на о. Вильчека. Документально подтверждено наличие колонии на о. Шмидта, ранее известной по опросным

сведениям из туристических круизов. Проверено состояние известных колоний на островах Ева-Лив и Домашний. Систематические наблюдения за распределением и численностью морских птиц и млекопитающих (судовые учеты и аэровизуальные наблюдения) на большей части обследованной акватории проводились впервые. Всего на исследованных акваториях зарегистрировано 13 видов птиц, 5-6 видов морских млекопитающих и белый медведь. Наиболее северный характер пространственного распределения обнаружен среди птиц - у розовой чайки, а также моевки, среди млекопитающих - у кольчатой нерпы.

Собран гербарий сосудистых растений и лишайников на архипелагах ЗФИ (о. Земля Вильчека, побережье залива Ермак) и Северная Земля (о. Октябрьской Революции, мысы Массивный и Некрасова); всего более 80 гербарных образцов лишайников и более 30 экземпляров сосудистых растений. Составлены краткие геоботанические описания растительных сообществ в местах сбора, выполнено фотографирование характерных растительных ценозов и отдельных видов растений. Ботанические сборы и наблюдения в указанных местах выполнены впервые.

В течение всего рейса на борту судна непрерывно определялись глубины и рельеф дна СЛО, а также испытывалось радионавигационное оборудование. Протяженность выполненного маршрутного промера глубин составила 5300 линейных километров, выполнено 120 отдельных промеров глубин в акватории арктических морей и Арктического бассейна СЛО, в том числе на участках, не изученных или мало изученных в гидрографическом отношении. Были выявлены особенности работы исследовательских эхолотов при плавании во льдах и выработаны рекомендации для выполнения гидрографических исследований в ледовых условиях.

Основным результатом работы отряда СГМО по программе «Арктика-2007» (26-й рейс НЭС «Академик Федоров») является полное, своевременное и качественное обеспечение плавания судна в высоких широтах, реализация сложного комплекса мероприятий по проведению глубоководных работ, эвакуации дрейфующей «Ледовой базы» и организации дрейфующей станции СП-35, а также выполнение научных исследований, включающих в себя геологические, гидрологические и ледовые работы. Несмотря на аномальное развитие метеорологических и ледовых процессов, опыт рейса НЭС «Академик Федоров» убедительно доказал возможность и эффективность эвакуации закончившей свой срок и организации новой дрейфующей станции «Северный полюс» с судна в летний период.

Важную роль в успешном выполнении всех поставленных перед экспедицией задач сыграла система специализированного гидрометеорологического обеспечения. Опыт информационного обеспечения экспедиции в очередной раз убедительно показал, что для эффективного движения судов в Арктическом бассейне необходима система СГМО, включающая:

режимные знания ледовых условий плавания и процессов, их формирующих; надежные методы долгосрочных и краткосрочных метеорологических и ледовых прогнозов; алгоритмы составления навигационных рекомендаций для современного ледокольного и транспортного флота; использование современных дистанционных средств зондирования ледяного покрова, позволяющих осуществлять его мониторинг; специальные судовые ледовые наблюдения и контактные методы измерений; визуальную авиационную ледовую разведку, являющуюся важным инструментом для оперативного получения информации о ледовой обстановке на предварительно выбранном варианте плавания.

В ходе работ по реализации Плана управления данными Программы МПГ в части, касающейся экспедиции «Арктика-2007», был доработан и дополнен приложениями, основанными на реальных данных наблюдений, проводимых в экспедиции, документ «Рекомендации по оформлению данных экспедиционных наблюдений». Подготовлены описания данных наблюдений по 9 видам, на основе форм, установленных Планом управления данными МПГ, которые будут внесены в центральную базу метаданных ЕСИМО и станут доступны пользователям через Интернет. Проведена апробация электронной версии сводной формы описания морских наблюдений РОСКОП. Выполнены тестирование и доработка программного обеспечения контроля соответствия данных формату обмена, рекомендованному Планом управления данными МПГ.

Совместно со специалистами Вудсхоллского океанографического института (США) и Университета им. Пьера и Марии Жолио-Кюри (Франция) на льду было установлено 5 дрейфующих профилографов водных масс (ИТР), 3 дрейфующих измерителя толщины снега и льда (1МВ) и 6 буев определения координат места системы АРГОС для определения динамики льда. Информация с дрейфующих измерительных комплексов оперативно передается по спутниковым каналам связи в центры сбора информации и представляется пользователям средствами Интернет.

В подготовке, организации и проведении высокоширотной арктической экспедиции, осуществлявшей работы в рамках МПГ 2007/08, приняли участие сотни специалистов и ученых ААНИИ Росгидромета и представители организаций и институтов других министерств и ведомств.

Особо отметим, что выполнение столь сложной Программы работ в труднодоступных районах Арктики стало возможным благодаря высокопрофессиональной подготовке всех основных участников экспедиции.

Полученные в процессе экспедиции материалы натуральных наблюдений являются существенным вкладом России в реализацию программы исследования полярных областей планеты.