

в составе четырех человек. 18 декабря 2007 года в месте базирования БАЭ у горы Вечерняя в Антарктиде впервые поднят флаг Республики Беларусь.

2008 год. Президентом Республики Беларусь подписан Указ «О присоединении Республики Беларусь к Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике». Организовано проведение 2-й БАЭ в составе шести человек.

2010 год. Организовано проведение третьей БАЭ в составе двух человек.

2011 год. Утверждена Государственная программа «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы». Организовано проведение 4-й БАЭ в составе двух человек.

2012 год. Представители Республики Беларусь впервые приняли участие в совещании Совета управляющих национальных антарктических программ. Национальной академией наук (НАН) Беларуси организовано проведение 5-й БАЭ в составе трех человек.

2013 год. Разработан и утвержден План создания Белорусской антарктической станции (БАС) в 2014–2025 годах. Планом предусматривалось строительство БАС в два этапа: 2014–2020 годы — строительство первой очереди БАС для перехода в 2019–2020 годах к функционированию в круглогодичном режиме; 2021–2025 годы — строительство второй очереди БАС для завершения формирования полноценной научно-исследовательской антарктической станции с учетом всех природоохранных требований.

НАН Беларуси организовано проведение 6-й БАЭ в составе трех человек.

2014 год. В Республике Беларусь прошла I Международная научно-практическая конференция «Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций». В работе конференции приняли участие 60 специалистов из 22 организаций-участников из четырех стран. НАН Беларуси организовано проведение 7-й БАЭ в составе пяти человек.

2015 год. В мае 2015 года на XXXVIII Консультативном совещании по Договору об Антарктике в Софии (Болгария) Республикой Беларусь представлен и одобрен документ «Строительство и функционирование Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби —

Окончательная Всесторонняя оценка окружающей среды». В августе 2015 года Республика Беларусь принята постоянным членом КОМНАП.

НАН Беларуси организовано проведение 8-й БАЭ в составе пяти человек. В декабре 2015 года при транспортной и логистической поддержке РАЭ в районе горы Вечерняя произведен монтаж первого объекта Белорусской антарктической станции (БАС) — трехсекционного модуля управления, связи и навигации.

2016 год. Утверждена Подпрограмма «Мониторинг полярных районов Земли, создание белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций в 2016–2020 гг.», предусмотрена реализация следующих мероприятий:

- формирование инфраструктуры Белорусской антарктической станции, оснащение технологическим оборудованием, научными приборами;

- осуществление комплексного наземного и спутникового мониторинга атмосферы и подстилающей поверхности, работы в интересах национальной космической программы в Антарктике;

- исследования озонового слоя в Антарктике;

- геофизические и геологические исследования земной коры в районе деятельности БАЭ;

- комплексные исследования и оценка перспектив использования биологических ресурсов Антарктики;

- исследования изменений природной среды и климата Антарктики;

- реализация мероприятий, направленных на согласование статуса Консультативной Стороны Договора об Антарктике.

2016–2017 гг. НАН Беларуси организовано проведение 9-й и 10-й БАЭ в составе шести и семи человек соответственно, в рамках которых продолжены работы по монтажу установочной платформы второго и третьего объектов БАС.

*А.А. Гайдашев*

*(ГУ «Республиканский центр полярных исследований»),*

*Республика Беларусь),*

*В.Л. Мартынянов (ААНИИ).*

*Фото из архива БАЭ*

## ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЯ МОУСОНА В СЕЗОННЫЙ ПЕРИОД 63-Й РАЭ

Океанографические исследования Южного океана — одна из важных задач, регулярно решаемая с помощью наблюдений с судов ААНИИ в период их пребывания в Антарктике в рамках сезонных работ Российской антарктической экспедиции. Они обычно выполняются в районах, близких к маршрутам судов, обеспечивающих российские станции. Программы исследований решают задачи проекта ЦНТП Росгидромета «Исследование режимно-климатических характеристик Антарктики и Южного океана». Надо отметить, что в период с конца прошлого века по настоящее время частично «вынужденный» выбор районов экспедиционных исследований для судов ААНИИ оказывался удачным. Акватории, где проводились глубоководные океанографические наблюдения, а также методология планирования исследований позволили обеспечить активное участие России в выполнении международных программ и получить объективно важные и интересные данные для изучения происходящих в океане важнейших

климатообразующих процессов (в первую очередь процессов в районе антарктического шельфа и материкового склона Антарктиды, ведущих к формированию Антарктической донной воды и вентиляции глубинных вод).

Основным международным проектом в этот период был МПГ 2007/08. В соответствии с задачами кластерного проекта МПГ 2007/08 № 8 «Взаимодействие вод антарктического склона и шельфа» (*Synoptic Antarctic Shelf Slope Interaction Study — SASSI*) с борта НЭС «Академик Федоров» были выполнены разрезы через шельф и материковый склон в морях Содружества, Рисер-Ларсена, Амундсена и Беллинсгаузена. Все перечисленные разрезы отличаются редким в практике океанографических исследований плотным расположением точек зондирования, особенно в области материкового склона, где расстояние между станциями уменьшалось до 2 км, что дало возможность получить подробную картину структуры вод этого района. Для исследования термической структуры и фрон-

тов Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) в районе между Африкой и Антарктидой и в соответствии с задачами кластерного проекта МПГ 2007/08 № 132 «Климат Антарктики и Южного океана» (*Climate of the Antarctic and Southern Ocean — CASO*) в период с 2007 по 2010 год ежегодно выполнялся разрез теряемыми батитермографами на маршруте Антарктида — Кейптаун по Гринвичскому меридиану в диапазоне широт 68–35° ю.ш. по траектории разреза SR2 программы CLIVAR.

Одним из важнейших результатов натурных исследований последнего периода, проводившихся учеными ААНИИ на борту флагмана антарктических исследований НЭС «Академик Федоров», стало экспериментальное обнаружение факта образования донных вод в районе залива Прудс моря Содружества. Основным объектом наблюдений стал разрез по 70° в.д., выполненный за период с 2004 по 2016 год девять раз и пересекающий шельф и материковый склон в районе, где в летний период 2004 года был впервые зафиксирован факт формирования донных вод. Дальнейшее целенаправленное исследование структуры и характеристик водных масс на данном разрезе и в прилегающей акватории подтвердило регулярность этих процессов в летний период. При этом была обнаружена существенная межгодовая изменчивость структуры, характеристик, механизмов распространения основных водных масс на разрезе — шельфовых, глубинных и донных вод.

Впервые полученная подробная информация о топографии дна океана в створе разреза и его окрестностях позволила экспериментально показать определяющую роль особенностей донной топографии в распространении вновь образованной донной воды по материковому склону. Выявлена тенденция к увеличению в последние годы объемов формирующейся летом в заливе Прудс донной воды, что связывается с усилением интенсивности таяния нижней поверхности шельфового ледника, ведущего к увеличению объема формирования переохлажденной шельфовой воды — важнейшей компоненты при формировании донной воды. Экспериментально и теоретически исследованы особенности формирования и развития тонкоструктурных особенностей при взаимодействии водных масс в области антарктического склонового фронта, разделяющего воды шельфа и глубокого океана. Столь продолжительные, постоянно развивавшиеся и уточнявшиеся наблюдения в заливе Прудс (в отдельные годы весьма ограниченные по объему в силу различных обстоятельств, но всегда направленные на основанное на ранее полученных данных дальнейшее развитие представлений о процессах формирования антарктической донной воды (АДВ),

Океанографические работы в Южном океане зондом «Sea Bird 911+». Фото Н.Н. Антипова



стали возможными благодаря необходимости относительно длительного пребывания НЭС «Академик Федоров» в данном регионе. Этого требовала необходимость обеспечения геологических работ. В 2018 году область геологических исследований перенесена в район оазиса Бангера, что требует пребывания судна в акватории моря Моусона (в районе бухт Малыгинцев или Миловзорова). Поэтому в программе океанографических исследований НЭС «Академик Федоров» в сезонный период 63-й РАЭ были запланированы работы в море Моусона. Положение точек зондирования в море Моусона, в связи с неопределенностью местонахождения и продолжительности пребывания судна в этом регионе, определялось исходя из реальных ледовых и погодных условий.

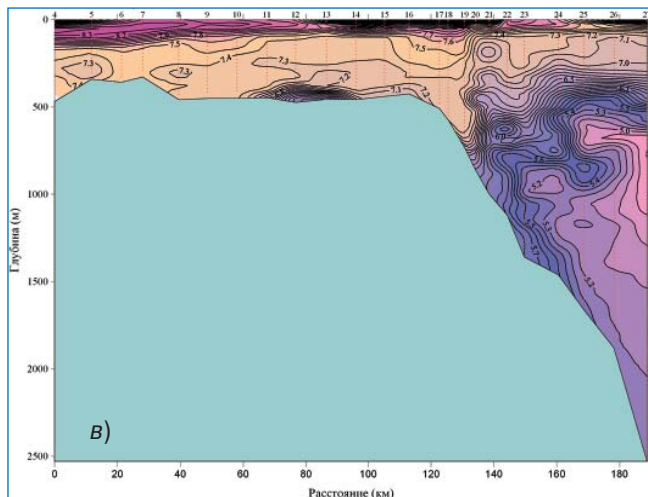
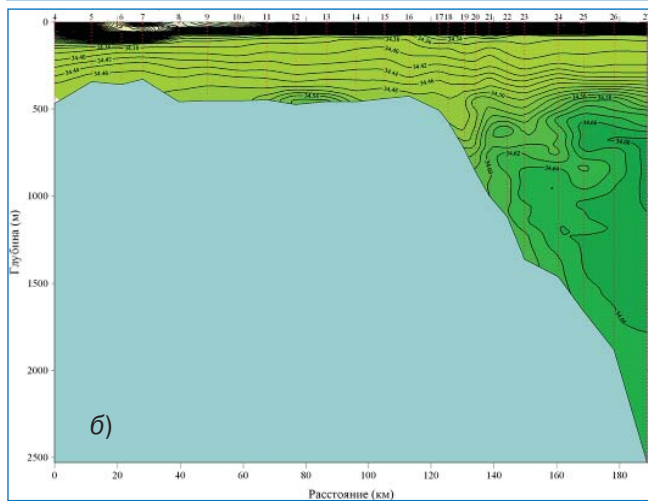
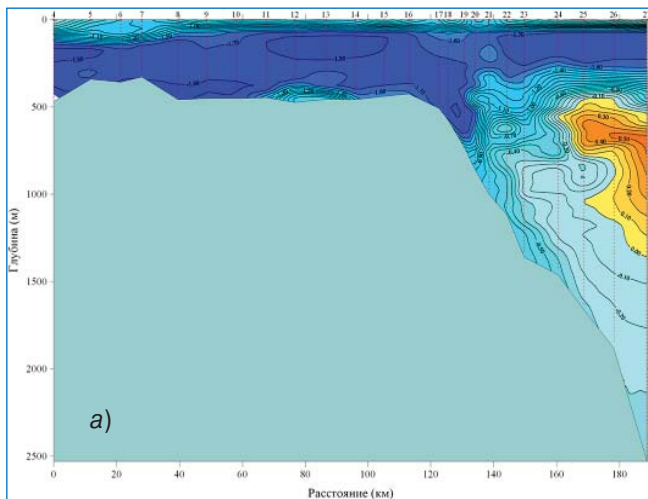
Район моря Моусона (в первую очередь область шельфа и материкового склона) на сегодняшний день плохо изучен не только в океанографическом, но и в гидрографическом плане. Интересно, что НЭС «Академик Федоров» первую в своей истории океанографическую станцию выполнило в январе 1988 года именно в бухте Малыгинцев, куда в 2018 году прибыло для работы с сезонной геологической базой в оазисе Бангера. В 1988 году с судна был выполнен разрез в 10-балльном льду, полученная информация позволила составить первые представления о структуре вод в труднодоступной части шельфа этого района. Правда, ограниченные возможности имевшегося тогда на судне оборудования и значительные расстояния между точками зондирования на выполненном разрезе позволили сделать лишь самые общие выводы о структуре вод и процессах на шельфе и склоне в этом районе. В частности, не были обнаружены признаки формирования в этом районе донной воды, хотя наличие на шельфе мощного слоя антарктической шельфовой воды и характеристики наблюдаемой вблизи бровки шельфа циркумполярной глубинной воды позволяли предполагать возможность таких процессов.

Позже несколько разрезов в этом регионе были выполнены австралийскими учеными восточнее разреза «Академика Федорова» 1988 года. Они практически не затронули область шельфа, однако дали представления о структуре вод в области материкового склона и позволили обнаружить некоторые признаки формирования АДВ. Однако ограниченность имеющейся информации на сегодня не позволяет составить достаточно полное представление об особенностях структуры и процессов на шельфе и материковом склоне этого региона.

Исходя из положения судна на момент начала океанографических работ (которое практически совпало с положением

Положение океанографических разрезов в море Моусона, выполненных НЭС «Академик Федоров» в январе 1988 года (красные треугольники) и январе 2018 года (синие кружки)





Потенциальная температура (а), соленость (б) и растворенный кислород (в) на разрезе в море Моусона (январь 2018 года)

первой океанографической станции 1988 года) и реальной ледовой обстановки, разрез 2018 года был оперативно спланирован приблизительно параллельно разрезу 1988 года, но со значительно более частым расположением точек зондирования и (в силу возможностей современных зондирующих комплексов) подробным (менее 1 м) вертикальным разрешением.

Разрез выполнен в период с 12 по 16 января 2018 года, на схеме показано положение разрезов, выполненных НЭС «Академик Федоров» в 2018 и в 1988 годах.

Наблюдения осуществлялись с помощью судового зонда «Sea Bird 911+». Производился отбор проб на содержание растворенного кислорода и биогенных элементов на горизон-

тах 0, 50, 100, 200, 500, 750, 1000, 2000 м и в придонном слое. Кроме того, дополнительно отбирались пробы в слоях экстремумов температуры и солёности, которые определялись оперативно на каждой станции. Перед началом каждой станции в журнал заносились краткие данные о ледовой обстановке и основные метеорологические параметры.

С целью достижения необходимой дискретности по вертикали скорость зондирования на всех станциях не превышала 1 м/с, а при подходе ко дну и на верхних 100 метрах подъема зонда к поверхности — 0,5 м/с.

Приближение зонда к дну контролировалось с помощью альтиметра PSA-916 D, установленного на несущей раме зонда, зондирование завершалось на расстоянии 15–20 м до дна.

На каждой станции производился отбор проб воды для определения солёности с целью контроля работы датчика электропроводности зонда. Величина солёности в этом случае определялась на судовом солемере AUTOSAL 8400B.

Полученные данные о свойствах и структуре вод в створе разреза показали весьма интересную и в чем-то неожиданную картину.

Распределение температуры, солёности и растворенного кислорода отражают достаточно сложную структуру водных масс шельфа и материкового склона, существование процессов, приводящих к формированию направленных вниз по склону перемещений вод. Характеристики вод придонного слоя на материковом склоне свидетельствуют о присутствии антарктической донной воды. В верхней части материкового склона, с глубинами до 1500 м, обнаружена свежая АДВ, достаточно холодная, относительно пресная и богатая кислородом (температура ниже  $-0,6$  °C, солёность не превосходит 34,50 ‰, содержание растворенного кислорода более 5,8 мл/л). Ближе к основанию материкового склона находится так называемая классическая АДВ, более теплая и солёная и менее богатая кислородом (теплее  $-0,4$  °C, солёнее 34,60 ‰, содержание кислорода менее 5,5 мл/л). Эта водная масса формируется на основе локальных типов донных вод (в основном из региона моря Уэдделла) в процессе циркуляции в пределах Южного океана (в основном южнее срединно-океанических хребтов), а в Атлантическом океане распространяется до умеренных широт Северного полушария.

Интересными оказались структура и характеристики вод на шельфе. При этом, учитывая практическое отсутствие достоверной информации о топографии дна в этом районе, важным стало и получение представления об особенностях распределения глубин в створе разреза. Обращает на себя внимание некоторое уменьшение глубин в направлении от центральной части шельфа к его бровке, перепад составляет около 50 м. Сложный рельеф дна шельфовой области как в створе разреза, так и в целом в данном регионе проявляется и в сложной картине распространения водных масс, отраженной в распределении их характеристик в створе разреза. Если в южной части разреза, ближней к шельфовому леднику Шеклтона, придонный слой мощностью около 100 м занимает антарктическая шельфовая вода, с температурой в ядре менее  $-1,8$  °C, солёностью чуть ниже 34,50 ‰ и содержанием растворенного кислорода более 7,0 мл/л, то ближе к бровке у дна (приуроченная к отмеченному выше локальному заглиблению дна) обнаруживается сильно модифицированная циркулярная глубинная вода (температура выше  $-0,7$  °C, солёность выше 34,55 ‰, кислород около 6,0 мл/л). Это известная под названием Модифицированная глубинная вода (МЦГВ) водная масса, которая может играть важную роль в процессах формирования донной воды. Она подстилает относительно мощный (около 200 м) слой антарктической шельфовой воды, а особенности тонкой структуры отражают активное боковое и вертикальное перемешивание шельфовой воды и модифи-



цированной циркумполярной глубинной воды. При этом на бровке шельфа и в верхней части склона у дна обнаруживается практически не трансформированная шельфовая вода, формирующая область сильных горизонтальных градиентов, отделяющую ее от наблюдающейся мористее ЦГВ, имеющей на этих глубинах относительно высокую температуру (выше 0,5 °С). Эта область высоких горизонтальных градиентов, именуемая Антарктическим склоновым фронтом, выделяется сложной термохалинной структурой, определяемой значительным количеством интрузий, линз, вихрей, что, благодаря достаточно близкому расположению точек зондирования на разрезе, хорошо выражено на представленных рисунках.

Единичный разрез не позволяет достоверно определить горизонтальные масштабы процессов и образований, но позволяет с известной долей уверенности предполагать, что этот регион может являться еще одним регионом формирования антарктической донной воды и в любом случае вносить свой вклад в вентиляцию циркумполярной глубинной воды. Анализ архивных данных в сопоставлении с данными нашего

разреза позволяет предположить, что более активно процессы формирования АДВ протекают восточнее выполненного разреза, мористее бухты Миловзорова. Учитывая перспективу более частого и длительного пребывания судов ААНИИ в море Моусона в предстоящий период, кажется целесообразным расширить натурные исследования в восточном направлении. В целом первые шаги в новом этапе исследований режима вод района моря Моусона кажутся обнадеживающими и дают возможность надеяться на интересные перспективы в определении роли района в климатически важных процессах.

В завершение с благодарностью отметим, что успешное выполнение океанографических работ на разрезе в малоизученном в гидрографическом плане районе моря Моусона стало возможным благодаря заинтересованному и ответственному отношению к научным исследованиям экипажа судна во главе с О.Г. Калмыковым.

*Н.Н. Антипов, В.П. Бунякин, С.В. Кашин,  
В.Л. Кузнецов, И.А. Чистяков (ААНИИ)*

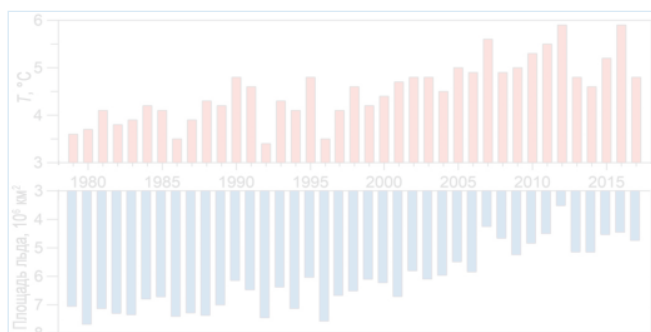
## ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ В АРКТИКЕ

### Мониторинг климатических изменений

Глобальное потепление обычно характеризуют ростом средней по полушарию и по всему земному шару приповерхностной температуры воздуха относительно ее среднего значения. Для Северного полушария и для всего земного шара этот рост в 2016 году составил 1,06 °С и 0,77 °С соответственно, что оказалось самыми высокими значениями с начала наблюдений. В Арктике 2016 год также оказался самым теплым за весь период наблюдений, особенно зимой. Летом средняя температура в 2016 году стала второй в ряду теплых летних сезонов. В 2017 году обе температуры понизились, причем больше летом. В целом в арктических широтах потепление в 3–4 раза больше, чем в среднем по полушарию или земному шару.

Потепление в Арктике сопровождается сокращением площади морских льдов, которая за последние 20 лет уменьшилась в сентябре почти вдвое. В 2012 году был отмечен абсолютный минимум площади льда в сентябре, равный 3,41 млн км<sup>2</sup>. В 2017 году сентябрьский минимум составил 4,64 млн км<sup>2</sup>, что является восьмым значением в ряду минимальных значений за период с 1979 года. Сокращение площади льда в сентябре и повышение летней температуры воздуха находятся в тесном согласии (коэффициент корреляции –0,92), испытывая при этом значительные межгодовые колебания (рис. 1).

Рис. 1. Средняя температура воздуха летом и площадь льда в сентябре в Северном Ледовитом океане



Сокращение площади льда в форме квазилинейного отрицательного тренда, равно как и в форме уменьшения числа положительных аномалий и увеличения числа отрицательных аномалий, в последние десятилетия характерно в целом для всей северной полярной области и всех сезонов года, что иллюстрирует рис. 2.

Одновременно с сокращением площади льда происходит уменьшение его толщины вследствие исчезновения значительной части многолетних льдов и уменьшения толщины однолетних льдов. Однако данный процесс является следствием как термических (уменьшение сумм градусодней мороза), так и динамических факторов (в основном увеличение скоростей трансарктического дрейфа и выноса льдов в Атлантику и сокращение времени нахождения льдов в круговороте Бофорта). Уменьшение ледовитости и толщин льда в совокупности приводят к уменьшению объемов льда, что иллюстрируется изменчивостью сезонного хода данного параметра по данным диагностической модели морского льда – океана HYCOM/CICE Датского метеорологического института

Рис. 2. Сезонный ход ежедневной ледовитости северной полярной области по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM (расчет МЦД МЛ ААНИИ)

