

## ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАЛИВЕ ПРЮДС 2024/25 ГОДА

В 2024–2025 годах океанографические наблюдения Южного океана проводились в рамках работ двух экспедиций: Международной антарктической вдольбереговой кругосветной экспедиции (International Antarctic Coastal Circumnavigation Expedition, ICCE) и 70-й Российской антарктической экспедиции (РАЭ).

Кругосветная экспедиция базировалась на борту научно-экспедиционного судна (НЭС) «Академик Трёшников».

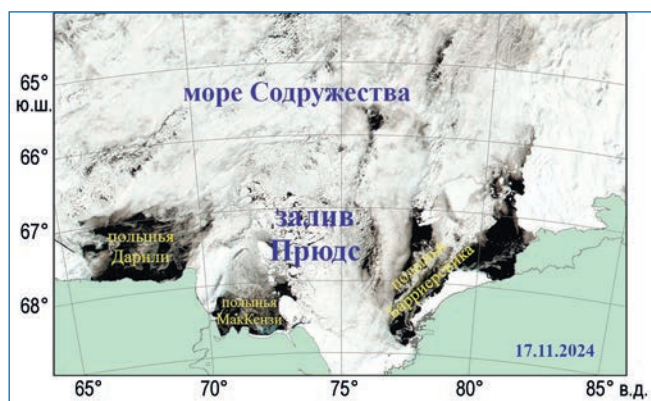
В результате выполнения комплексной программы ICCE были получены уникальные данные о вертикальной структуре вод в антарктических полыньях в ранний летний период в Южном полушарии. В декабре 2024 года — январе 2025 года сделано 19 комплексных глубоководных океанографических станций, в том числе в полыньях мыса Дарнли, бухты Барриеревика (рис. 1), айсбергового языка Дибла, ледника Мерца, шельфового ледника Росса.

По маршруту проведения логистических операций 70-й РАЭ был выполнен большой объем океанографических работ: на шельфе и континентальном склоне морей Содружества, Дейвиса, Моусона — с борта НЭС «Академик Федоров»; в проливе Брансфилд и в районе полевой базы Русская — с борта НЭС «Академик Трёшников».

С целью мониторинга состояния Южного океана отдел океанологии ААНИИ ежегодно получает и анализирует новые данные. На основе таких данных выпускаются и публикуются на сайте ААНИИ пособия по гидрометеорологическому режиму прибрежных антарктических станций и окраинных морей Антарктиды. Кроме того, ведутся работы по исследованию изменчивости ледопродуктивности полыней и роли полыней в формировании структуры водных масс на шельфе и материковом склоне. На основе данных спутниковых снимков и данных атмосферного реанализа определены серьезные изменения в 2023 и 2024 годах площадей полыней залива Прюдс, связанные с изменениями в океане, атмосферной циркуляцией и, предположительно, изменением траекторий прохождения циклонов.

Процессы, протекающие в полыньях, играют ключевую роль в функционировании гидрологических и био-

Рис. 1. Ледовая обстановка в море Содружества и заливе Прюдс. Положение полыней по данным спутникового снимка видимого диапазона 17 ноября 2024 года



логических систем Южного океана, определяя динамику водных масс и продуктивность его экосистем. В весенне-летний период в полыньях наблюдается высокая первичная продукция. В летний навигационный период полыньи создают благоприятные условия для плавания судов. В осенне-зимний период в полыньях в связи с процессами ледообразования происходит формирование плотных вод, которые способны пополнять антарктическую донную воду. В холодный период года при длительном (до нескольких суток) действии отжимного ветра, при котором создаются условия взлома и выноса новообразованного льда, в океане происходит развитие мощной вертикальной конвекции, связанной с выбросом соли в поверхностном слое при ледообразовании. В дальнейшем в области шельфа и континентального склона такие воды могут смешиваться с значительно более теплыми и более солеными циркумполярными глубинными водами (ЦГВ), трансформируясь в еще более плотные водные массы.

Залив Прюдс является одним из немногих регионов, где проявляются процессы формирования плотных вод на шельфе и последующего опускания по материковому склону и где ААНИИ проводит регулярные наблюдения. Разрез по меридиану 70° в. д. является регулярным с 2004 года. Начиная с 2011 года данный разрез выполняется с дискретностью в 1 морскую милю. Неоднократное повторение разреза 70° в. д. способствовало выявлению межгодовой изменчивости характеристик водных масс. С 2017 по 2022 год в связи с изменением в графике и маршрутах судов РАЭ океанографические исследования ААНИИ в заливе Прюдс не проводились. С 2023 года было возобновлено ежегодное выполнение данного разреза. В 2025 году в период с 11 по 17 января была получена 12-я реализация разреза.

В летний сезон 2024/25 года наблюдения проводились в заливе Прюдс дважды: в середине декабря в полыньях Дарнли по программе ICCE, а затем в середине января на регулярном разрезе по 70° в. д.

Сроки выполнения океанографических наблюдений ICCE отличаются более ранним, в отличие от предыдущих экспедиций, периодом. В частности, 17 декабря 2024 года были сделаны три океанографические станции на шельфе и материковом склоне в районе полыни мыса Дарнли. На рис. 2 показана изученность региона судами ААНИИ за всю историю наблюдений и программой MEOP с 2020 по 2025 год. «Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole» (MEOP) — «Морские млекопитающие исследуют океаны от полюса до полюса» — это международный консорциум, объединяющий национальные программы для создания единой базы океанографических данных, полученных в полярных регионах с помощью оснащенных датчиками морских млекопитающих.

В сравнении с результатами наблюдений 2005 года в рамках 50-й РАЭ, которые были получены в полыньях Дарнли 13–17 января 2005 года, новые данные ICCE фиксируют наличие более плотных вод в придонном горизонте. Именно ранние наблюдения ICCE позволили зафиксировать следы распространения плотных вод по

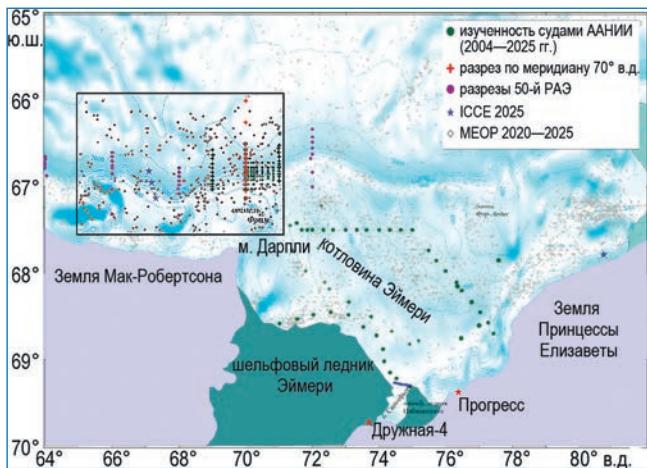


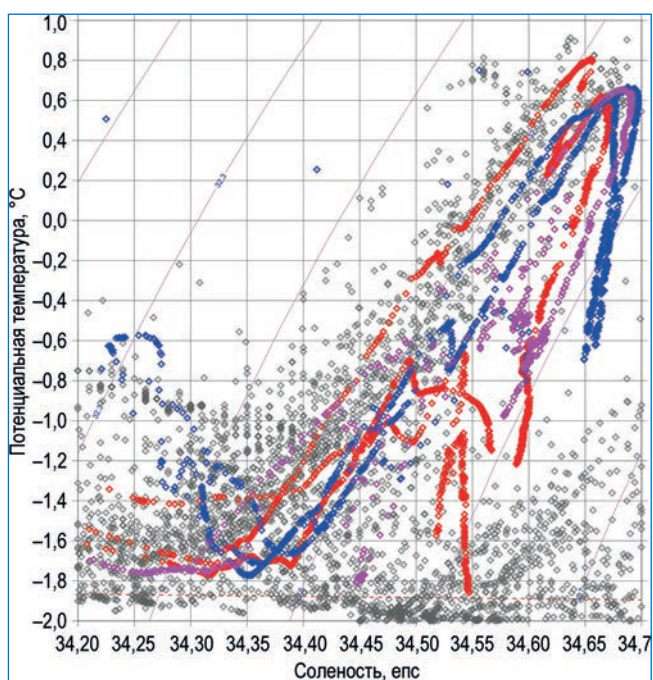
Рис. 2. Океанографическая изученность залива Прюдс. Положение регулярного меридионального разреза по 70° в. д., разреза по 68° в. д., выполненного в сезон 50-й РАЭ, и зондирований международной экспедиции ICSE 2025 г и программы MEOP.

Прямоугольником отмечен район польины Дарнли

склону. Топография района польины мыса Дарнли не способствует накоплению плотных вод в области шельфа, как это, например, происходит в котловине Эймери. Судовые наблюдения обычно выполняются в более поздний, самый благоприятный для навигации летний сезон (январь–февраль), когда процессы генерации плотных вод существенно ослаблены или прекращены. Отсутствие накопления плотных вод на шельфе и сезонные изменения приводят к исчезновению или перемещению ранее сформированных плотных водных масс. Поэтому в предыдущих судовых экспедициях ААНИИ не удавалось обнаружить плотные шельфовые воды на материковом склоне между 64° и 69° в. д. вблизи польины мыса Дарнли.

TS-диаграмма (рис. 3) демонстрирует сравнение данных ICSE, разрезов по 68° в. д. (2005 год) и по 70° в. д.

Рис. 3. TS-диаграмма результатов зондирований экспедиции ICSE (синий); разрез по 70° в. д., 2025 год (красный); разрез по 68° в. д., 2007 год (фиолетовый розовый); морские млекопитающие программы MEOP, 2020–2025 годы (серый). Красной пунктирной линией отмечена температура замерзания морской воды на поверхности (ниже  $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ )



(2025 год) и данных программы MEOP (2020–2025 годы) в районе польины мыса Дарнли. На разрезах было выбрано по три наиболее схожих по положению станции (шельф — бровка шельфа — материковый склон). Данные ICSE в придонном горизонте имеют характеристики ( $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $S > 34,65\text{ eps}$ ) с более высокой плотностью, чем данные по 68° в. д. При этом сопоставимую условную потенциальную плотность  $\sigma_{1000}$  с зафиксированной на разрезе по 70° в. д. в 2025 году. Данные с датчиков, установленных на морских млекопитающих программы MEOP в польине Дарнли, фиксируют наличие значительно более плотных модификаций шельфовых вод в недоступный для судовых наблюдений зимний период.

Несмотря на то, что обычно разрез по 70° в. д. выполняется значительно позже — не ранее второй декады января, полученные данные фиксируют опускание накопленных за зимний период в котловине Эймери плотных вод, образованных не только путем ледообразования в польнях, но и в результате взаимодействия с шельфовым ледником. Топография котловины Эймери позволяет за зимний период накапливать значительный объем плотных шельфовых вод, которые, вследствие циклонической циркуляции залива Прюдс, продолжают вытекать через канал Прюдс (на долготах 71–73° в. д.) по склону даже в относительно поздний летний период. Меридиональный разрез по 70° в. д. располагается западнее канала Прюдс, что в силу направленного на запад склонового антарктического течения позволяет обнаруживать плотные шельфовые воды (с нейтральной плотностью выше 28,27) на континентальном склоне.

До 2016 года (включительно) на разрезе наблюдалась характерная картина структуры водных масс в глубоководной части разреза, когда уровень верхней границы теплых ЦГВ по изотерме  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в присклоновой области располагался на глубинах около 400 м. Такое положение верхней границы ЦГВ соответствовало положению бровки шельфа на разрезе. В 2023 году, после возобновления исследований в регионе, было зафиксировано резкое изменение мощности слоя ЦГВ, выразившееся в первую очередь в подъеме верхней границы ЦГВ к поверхности (рис. 4), а также в повышении температуры в ядре. Произошло сокращение толщины верхнего охлажденного слоя зимней воды: от поверхности до верхней границы ЦГВ (с 400 до 100 м). В 2025 году сохраняется увеличение объема вод, относящихся к ЦГВ (усиление мощности слоя с потенциальной температурой выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), выразившееся не только в увеличении температуры в ядре, но и в подъеме этого слоя к поверхности в присклоновой области в летний период. Несмотря на усиление мощности и подъема верхней границы ЦГВ, не происходит блокировки образования плотных шельфовых вод. Процессы опускания плотных вод по склону продолжаются.

Такие изменения согласуются с наступлением периода минимумов ледовитости в данном регионе. С 2022 года наблюдается резкое сокращение площади дрейфующих льдов в заливе Прюдс в летний период, вплоть до их практически полного исчезновения, а польины раньше, чем обычно, сливаются с открытым океаном.

Изменения в ледовитости проявляются не только в снижении площади, покрытой морским дрейфующим льдом, но и в сроках максимального развития пояса дрейфующего льда (рис. 5). В частности, в октябре–ноябре 2025 года зафиксировано аномально слабое развитие пояса дрейфующего льда в море Содружества. Впервые за всю историю спутниковых наблюдений сместились сроки начала деградации площади морского

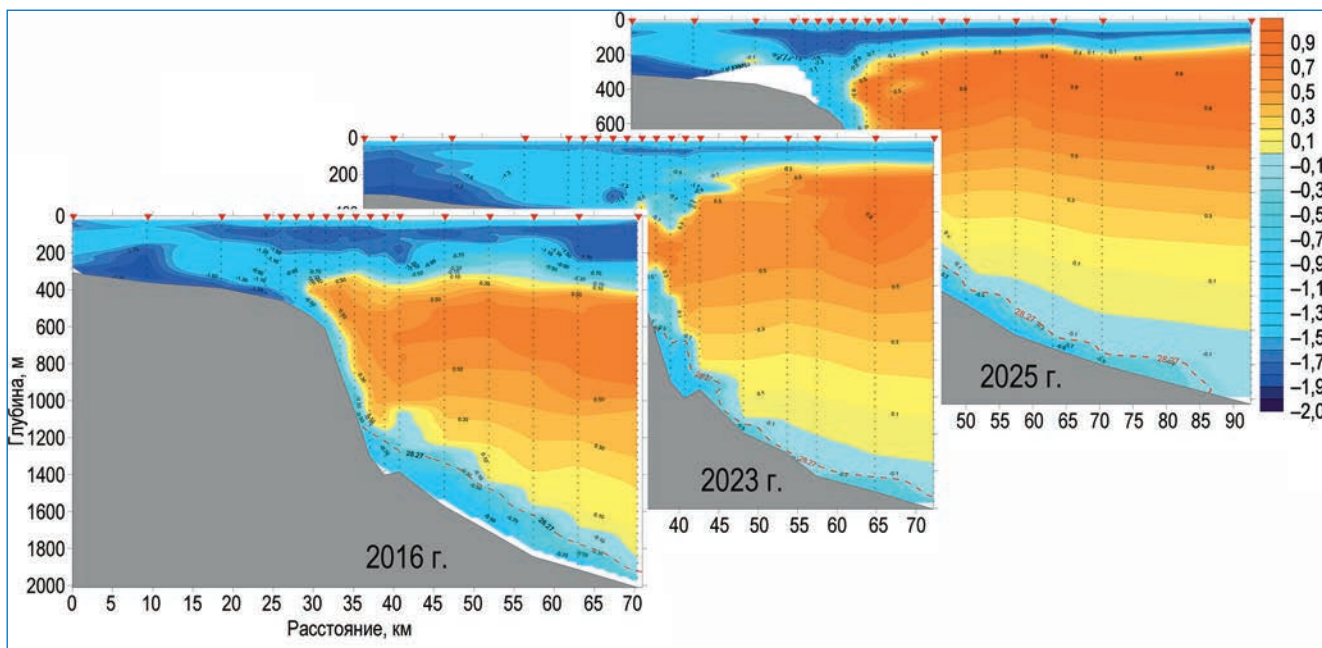


Рис. 4. Распределение потенциальной температуры (°C) на разрезе по меридиану 70° в. д. в 2016, 2023 и 2025 годах. Красной пунктирной линией отмечена изоликна нейтральной плотности 28,27

дрейфующего льда. Ранее максимальное развитие кромки дрейфующего льда приходилось на период сентябрь–октябрь. В 2025 году деградация площади дрейфующего льда началась в середине августа. Кроме того, сроки начала резкого сезонного (весной) увеличения площади полыней залива Прюдс сместились с октября на вторую половину ноября с образованием зон разрежения в поясе дрейфующих льдов, что облегчает их форсирование.

Такая аномалия смещения сроков наступления максимума ледовитости района моря Содружества и более раннего расширения полыней может быть связана с изменениями режима циркуляции атмосферы, волновыми процессами и изменением положения верхней границы теплых и относительно соленых ЦГВ в регионе, наблюдающимся с 2023 года. Требуется дальнейшая комплексная оценка причин таких изменений.

Следует отметить и тот факт, что, несмотря на минимальную ледовитость региона, в вершине залива Прюдс в зимнее время образуется аномально широкий припай, достигающий ширины 90 км, что затрудняет

подход к станции Прогресс для выполнения логистических операций. Также сдвинулись на более поздние сроки даты начала взлома припая и очищения акватории. Эти изменения обусловлены тем, что шельфовый ледник Эймери (ШЛЭ) заметно выдвинулся в сторону океана. Выдвинутая часть ШЛЭ затрудняет распространение волн зыби, что способствует образованию аномально широкого припая в восточной вершине залива и его длительному сохранению. ШЛЭ является одним из крупнейших в Восточной Антарктиде, площадью около 40 тыс. км<sup>2</sup>. С 1970 года по настоящее время он находится в стадии нарастания, его передняя кромка выдвигается со скоростью от 0,9 до 1,5 км/год. Шельфовые ледники подвержены циклическим процессам динамического равновесия: после достижения критических размеров происходит их периодическое откалывание (кальвинг), после чего следует фаза нарастания до нового критического состояния. К текущему моменту (начало 2026 года) ШЛЭ уже достиг размеров, близких к предыдущим максимальным размерам конца 1960-х годов, когда началось его активное разрушение. В результате завершившегося кальвинга к 1969 году барьер ШЛЭ отступил в юго-западном направлении в среднем до 75 км, его площадь сократилась на четверть (11 тыс. км<sup>2</sup>). Баланс массы ШЛЭ также определяется и процессами базального таяния при взаимодействии с теплыми модифицированными ЦГВ, проникновение которых на шельф в последние годы стало более интенсивным из-за подъема верхней границы ЦГВ выше уровня бровки шельфа. Возможное усиление влияния затоков теплых ЦГВ на шельф также может способствовать разрушению ШЛЭ.

В случае начала нового кальвинга ШЛЭ и изменения его барьерной линии могут существенно измениться сроки начала взлома припая и очищения акватории вершины залива Прюдс. При изменении барьерной линии ШЛЭ изменяются и условия существования прибарьерной полыни бухты Маккензи.

Для установления причин и возможных последствий изменений термохалинной структуры вод залива Прюдс требуется комплексное исследование взаимодействия океан–лед–атмосфера в регионе. Для планирования

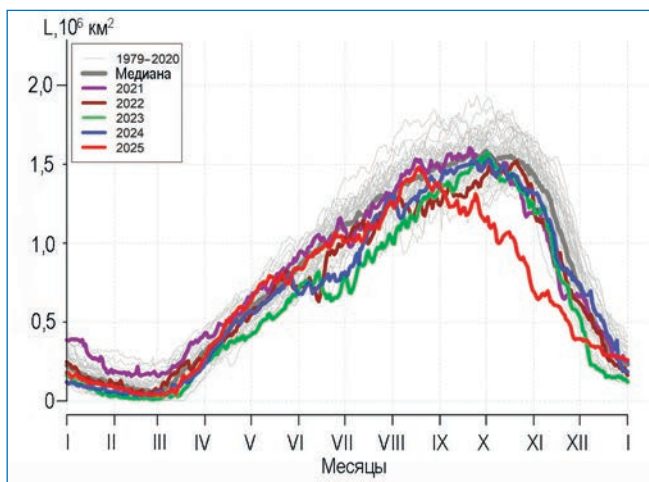


Рис. 5. Изменение общей ледовитости моря Содружества. Впервые в 2025 году (красная линия) наблюдается смещение сроков начала деградации площади дрейфующего морского льда на более ранний период (август)

логистических операций требуются: оценки изменений потоков тепла из океана, режима припайного льда и полыней, проведение специальных комплексных научных морских исследований в ранние сроки. Для обоснованного прогноза изменения состояния вод и льдов региона целесообразно расширить спектр получения данных за счет применения автоматизированных средств измерений, таких как автоматические ледовые дрейфующие буи, передающие информацию в оперативном круглогодичном режиме.

В сочетании с рекордным уменьшением ледовитости после 2022 года и значительно более ранним наступлением сроков начала деградации площади морского дрейфующего льда в море Содружества появляется уникальная возможность расширения периода навигации для выполнения специальных научных исследований на значительно более ранний период. Анализ спутниковых снимков и опыт навигаций последних лет, в том числе российских и китайских НЭС, показывает, что доступ в полыни залива Прюдс возможен с середины ноября при условии хорошего технического состояния судов,

опытных судоводителей и широкого использования спутниковой и БПЛА информации, включая РЛС-снимки.

*В 2025 году океанографические исследования в сезонный период 70-й РАЭ проводились в рамках выполнения темы 5.2 «Океанологические, климатологические, гляциологические и геофизические исследования в Антарктике и Южном океане» 2025–2029 гг. НИТР/ОПР Росгидромета. Полевые работы выполнены за счет средств субсидии на финансовое обеспечение государственного задания на выполнение работ по проведению 70-й Российской антарктической экспедиции. Экспедиция ICCE финансировалась швейцарским фондом *Fondation Albedo pour la Cryosphere*, при поддержке бразильской антарктической программы (PROANTAR) через Бразильский национальный совет по научному и технологическому развитию (CNPq).*

*М.С. Молчанов, Н.Н. Антипов, С.В. Кашин,  
Н.А. Куссе-Тюз, Я.В. Швед, С.В. Яговкина (АНИИ),  
А.А. Федотова (АНИИ, ИО РАН)*

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В 2025 ГОДУ В РАЙОНЕ РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ПРОГРЕСС

Среди особых отличительных черт ледовой обстановки в 2025 году в районе станции Прогресс в первую очередь следует отметить, что в конце 2024 года и в первом квартале 2025 года ледовые процессы в Антарктиде происходили на фоне значительных положительных аномалий температуры воздуха в периоды таяния и накопления морского льда. В регулярно публикуемых Информационных материалах по мониторингу морского ледяного покрова Арктики и Южного океана за 3–11 марта 2025 года № 10 (701) Мирового центра данных по морскому льду (МЦД-МЛ АНИИ) отмечалось сильное разрушение припайного (неподвижного льда), что привело «к минимальному за последние 10 лет значению его площади — 129 тыс. кв. км» ([http://wdc.aari.ru/datasets/d0042/2025/aari\\_20250303-20250311.pdf](http://wdc.aari.ru/datasets/d0042/2025/aari_20250303-20250311.pdf)). За летний сезон с ноября–декабря 2024 года по март 2025 года площадь неподвижного льда в Антарктиде уменьшилась на 75 %. Сообщалось также, что резкое сокращение площади дрейфующих и припайных льдов обусловило свободное проникновение волн зыби к бе-

регам материка в антарктических морях атлантического и индийского секторов.

Особенностью летних процессов явилось раннее начало таяния льда и взлома припая на всех объектах наблюдения в районе оазиса Холмы Ларсеманн. Особо выделяется в этом отношении бухта Тала, в которой впервые за много лет наблюдался взлом и вынос многолетнего припайного льда в течение февраля 2025 года. В начале февраля здесь произошло разрушение припая и первое полное очищение акватории ото льда, в третьей декаде отмечено окончательное очищение бухты ото льда на срок до 25 дней (рис. 1), что в целом на месяц раньше ее частичного очищения в 2024 году.

В мае 2025 года впервые за эту зиму в заливе Прюдс была отмечена тенденция к расширению зоны разводий по линии горизонта. Уже к июлю можно было с большой определенностью отметить, что к особенностям этой зимы относится появление зоны разводий за границей припая в бухте Восточная (дальность видимости до 30 км) и севернее ее границ в заливе Прюдс,

Рис. 1. Вид бухты Тала летом 2025 года в период полного очищения от многолетнего льда (снимки с БПЛА выполнены 10 марта с высоты 400–500 м)

