

СИНОПТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ФРОНТОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА

Ионов Виктор Владимирович,
Кафедра океанологии, Институт наук о Земле,
Санкт-Петербургский государственный университет

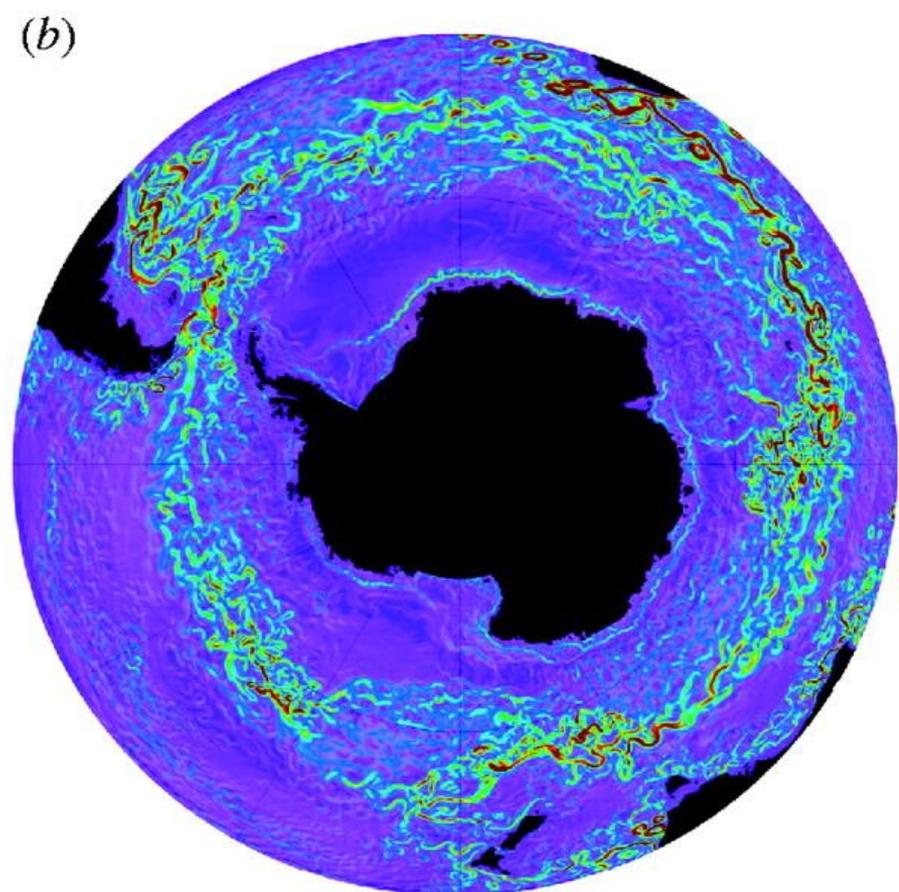
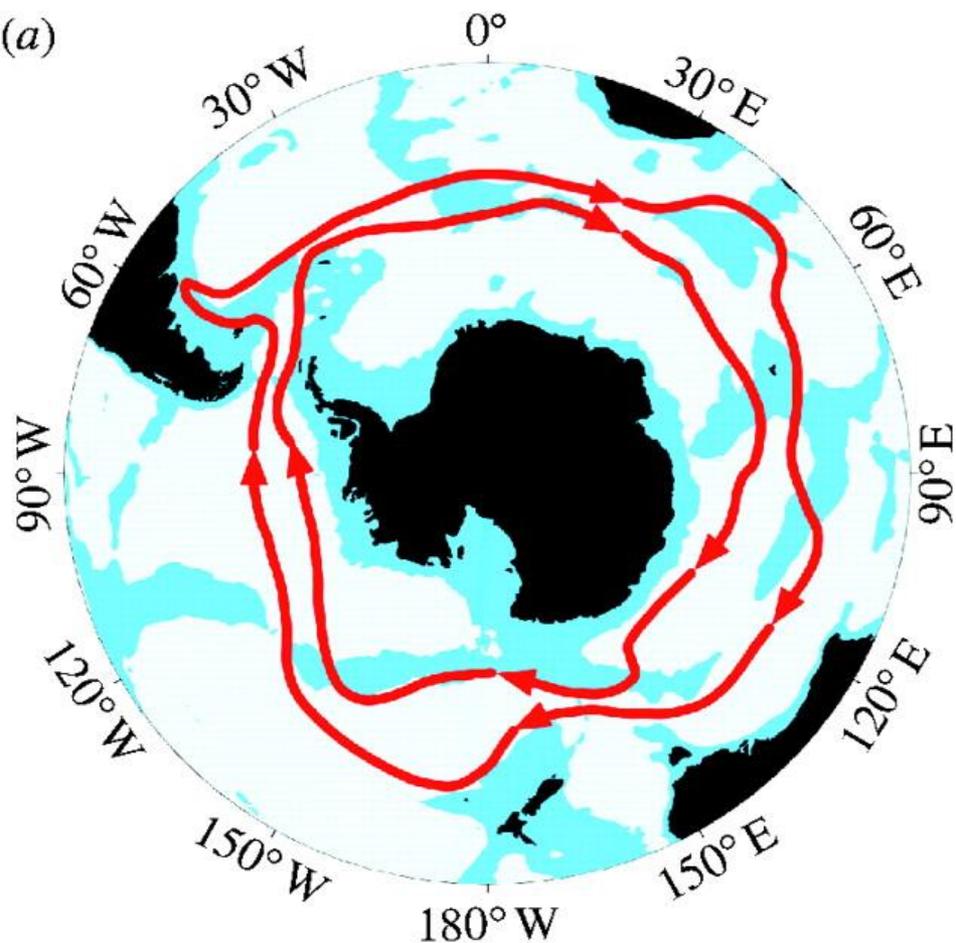
- Климат можно определить (следуя А.С. Монину, 1982) как статистический ансамбль взятых за период в несколько десятилетий синоптических состояний глобальной климатической системы Атмосфера-Океан-Суша.
- Океан и Атмосфера беспрестанно и активно взаимодействуют друг с другом на поверхности своего раздела, которая составляет более 2/3 поверхности Земли. Именно поверхность океанов и морей – базовый источник тепла нижней атмосферы, поскольку она нагревается снизу.
- Для надёжных представлений о климате планеты в целом, сугубо важно глубокое понимание физических процессов идущих в приповерхностных водах океанов и морей.
- Климатические изменения в Мировом океане достоверно оценить можно лишь осуществляя синоптический (*от гр. sunoptikos, обозревающий все вместе*) мониторинг его основных климатически значащих физических параметров.
- Наиболее доступны для прямых и дистанционных (спутниковых) наблюдений сведения о температуре поверхности моря .

Синоптический мониторинг поверхностных термических фронтов Южного океана

- Южный океан – один из важнейших компонентов климатической системы планеты. Однако, скудость прямых океанографических наблюдений, в этой удалённой и суровой для мореплавания части Мирового океана, препятствует чёткому пониманию физических и динамических процессов, которые отличают Южный океан от других океанических бассейнов.
- Главная особенность циркуляции вод Южного океана это самое многоводное на Земле, направленное на восток, не встречающее сплошной поперечной преграды, Течение западных ветров – Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ).
- АЦТ играет ключевую роль в глобальном переносе тепла, количества движения и массы, транслируя климатические сигналы из одного бассейна Мирового океана в другой.
- Характерная черта гидрологии поверхностных вод Южного океана – множественность фронтальных разделов водных масс различного происхождения. Главные из этих фронтов формируют Антарктическое Циркумполярное течение.
- Основные гидрологические фронты на поверхности Южного океана, являясь индикаторами общей циркуляции его вод, **косвенно определяют зоны повышенных значений первичной продуктивности в поверхностном слое моря.**

Разграничения, определения, классификации

- **Южный океан определяем в границах:** на юге – берег Антарктиды, а на севере - «линия, соединяющая южные оконечности Африки, Австралии, Новой Зеландии и Южной Америки. Эта линия почти совпадает с субтропической конвергенцией». (Атлас Антарктики, 1966).
- Международная гидрографическая организация (International Hydrographic Organization, 2000) приняла **за северную границу Южного океана параллель 60° ю.ш.**
- «...установлено, что к **югу от северной границы АЦТ** расположена **единая область Мирового океана** – ... макроциркуляционная система, ...обладающая ...характеристиками, отличными от ... характеристик вод ... севернее АЦТ. Указанная система была выделена ... в самостоятельный **Южный океан**». (Атлас океанов. Антарктика, 2005).



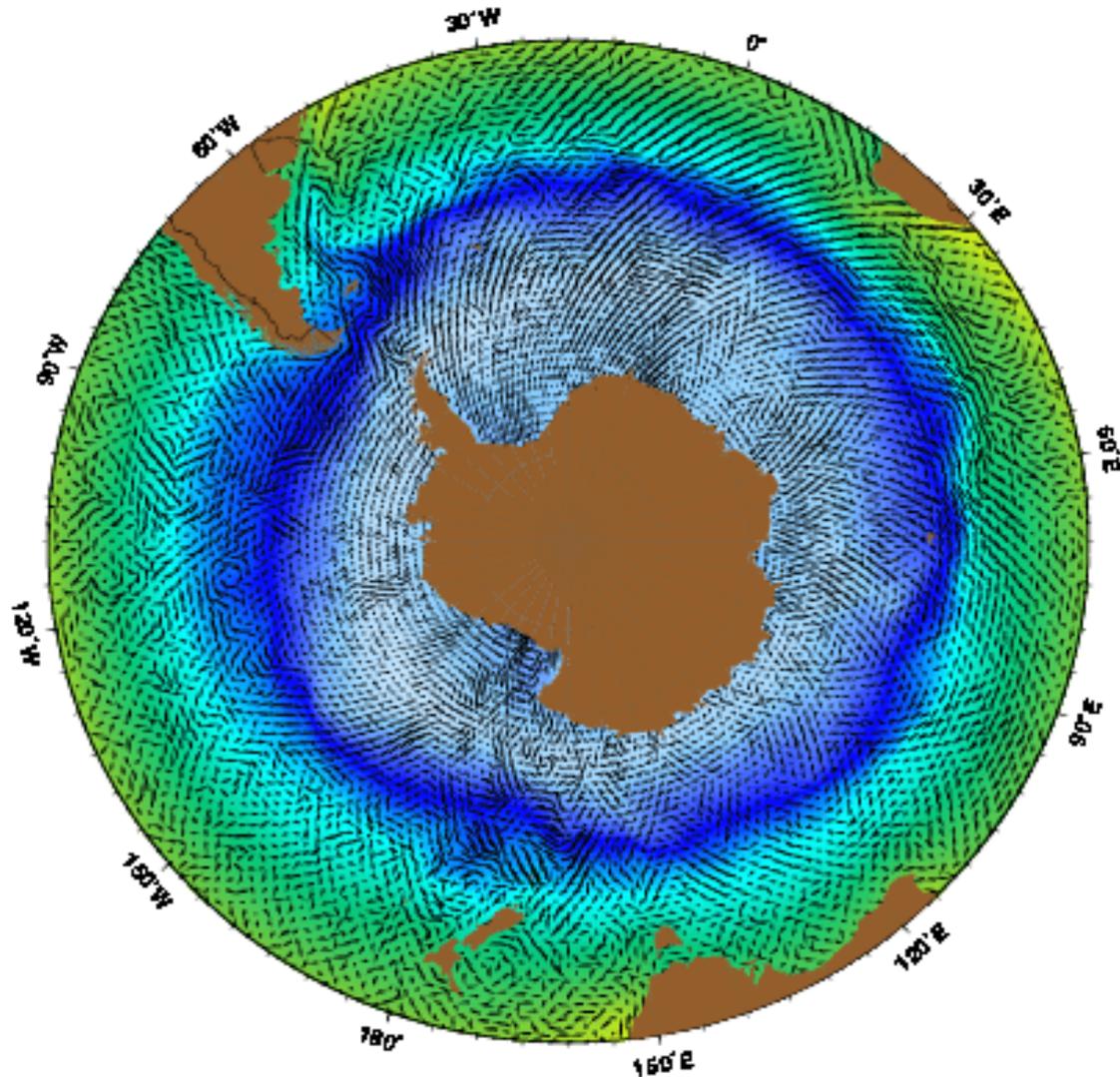
(a) Схема траектории Антарктического Циркумполярного течения (АЦТ).

В областях с голубой заливкой – глубины менее 3500 м.

(b) Снимок одномоментных линий тока поверхностных течений Южного океана, согласно вихреразрешающей ($1/12^\circ$) модели циркуляции глобального океана

(Lee&Coward, 2003),

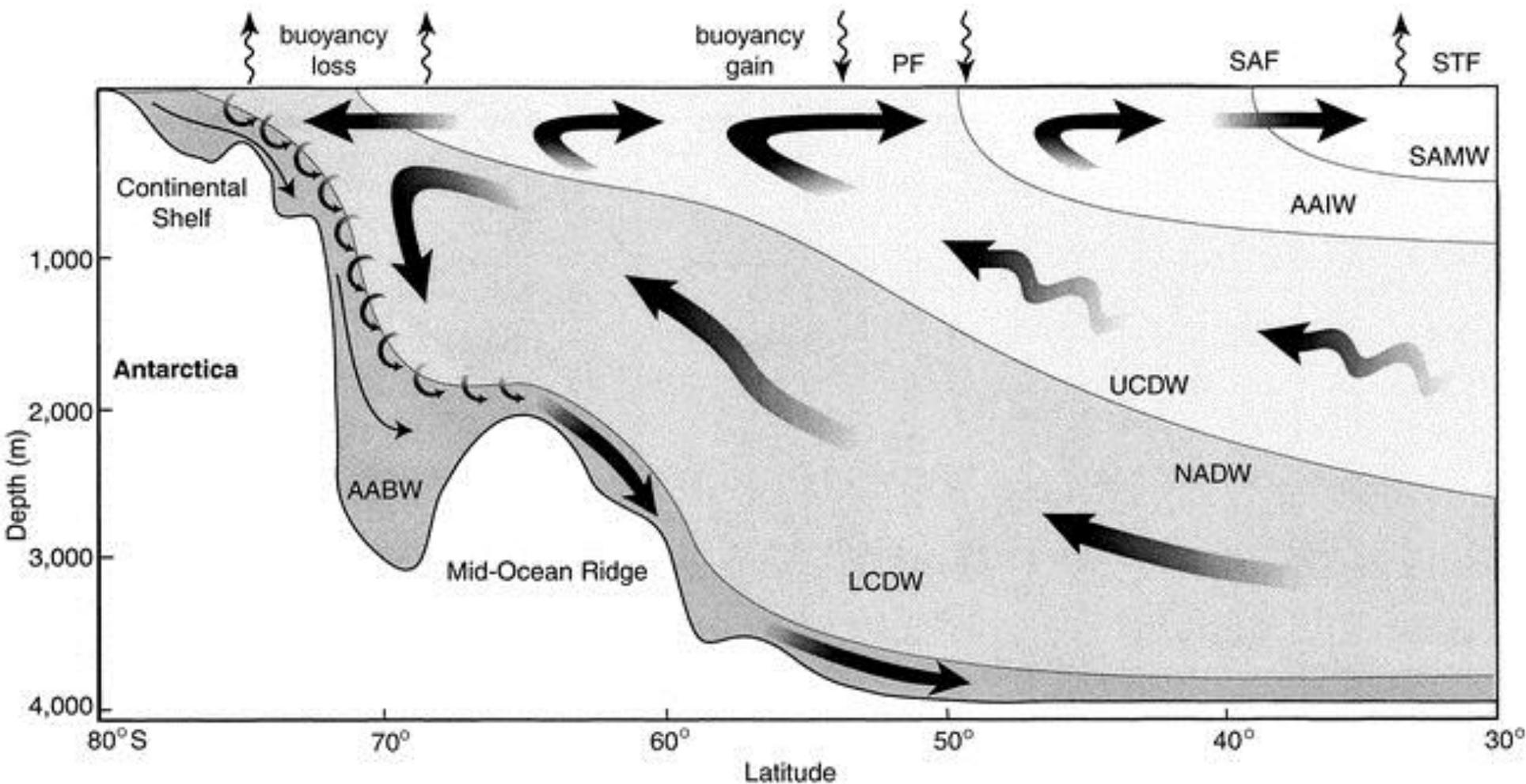
на котором отчётливо различима волокнистая структура отдельных струй АЦТ.



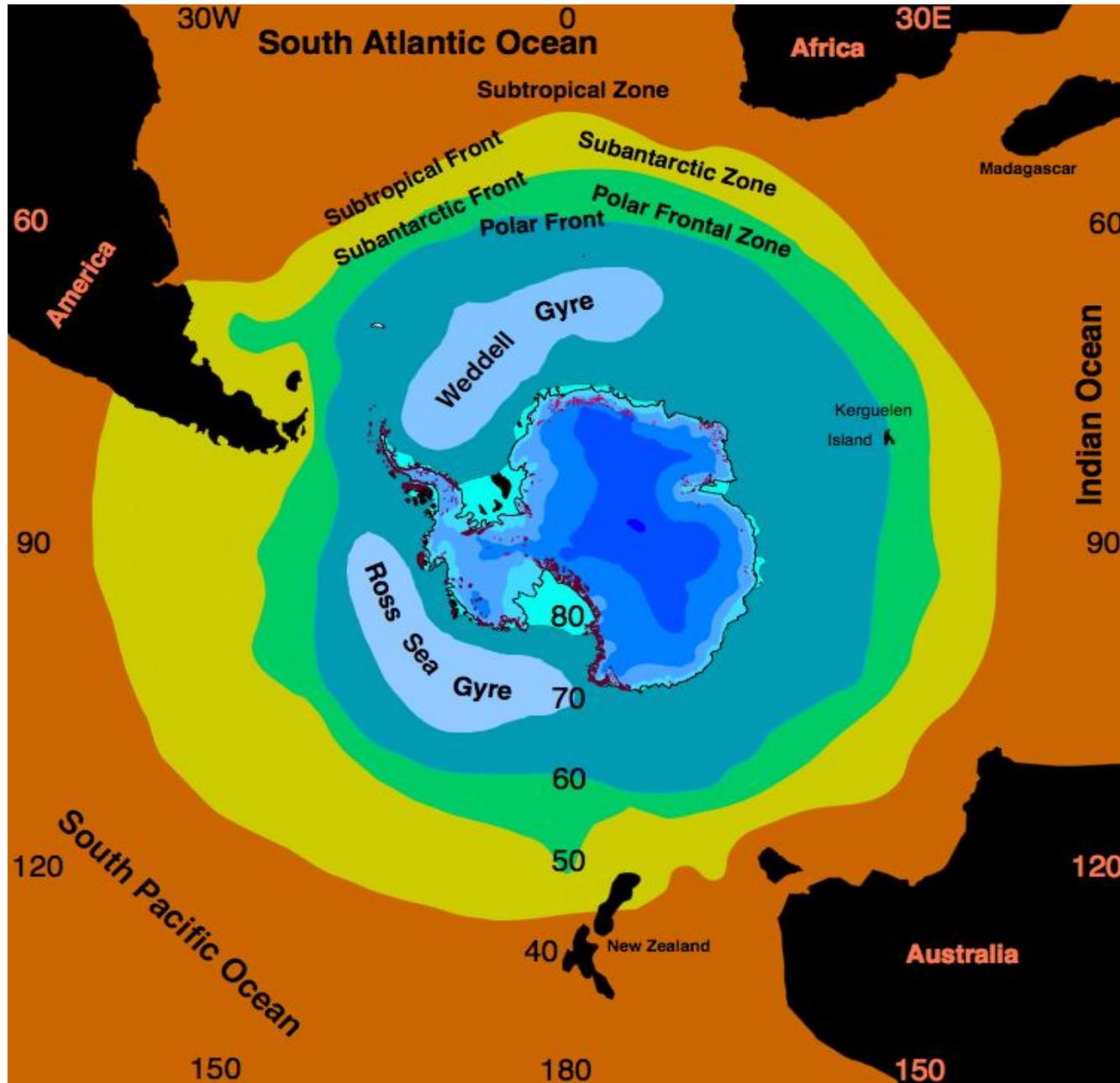
Антарктическое Циркумполярное течение (АЦТ) представлено по результатам Глобального Анализа Течений на Поверхности Мирового океана А. J. Mariano (MGSVA). АЦТ представлено здесь, по оценке авторов, весьма скудно из-за небольшого количества данных. MGSVA-анализ базируется на оценках течений на поверхности океана по данным о сносе судов. Таких данных гораздо больше вдоль главных судовых путей.

Меридиональная Вертикальная Циркуляция (МВЦ) Южного океана

From: Speer K, Rintoul S.R, Sloyan B 2000 The diabatic Deacon cell. *J. Phys. Oceanogr.* **30**, 3212–3222.



[From: Hannes Grobe](#), Alfred Wegener Institute, for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany

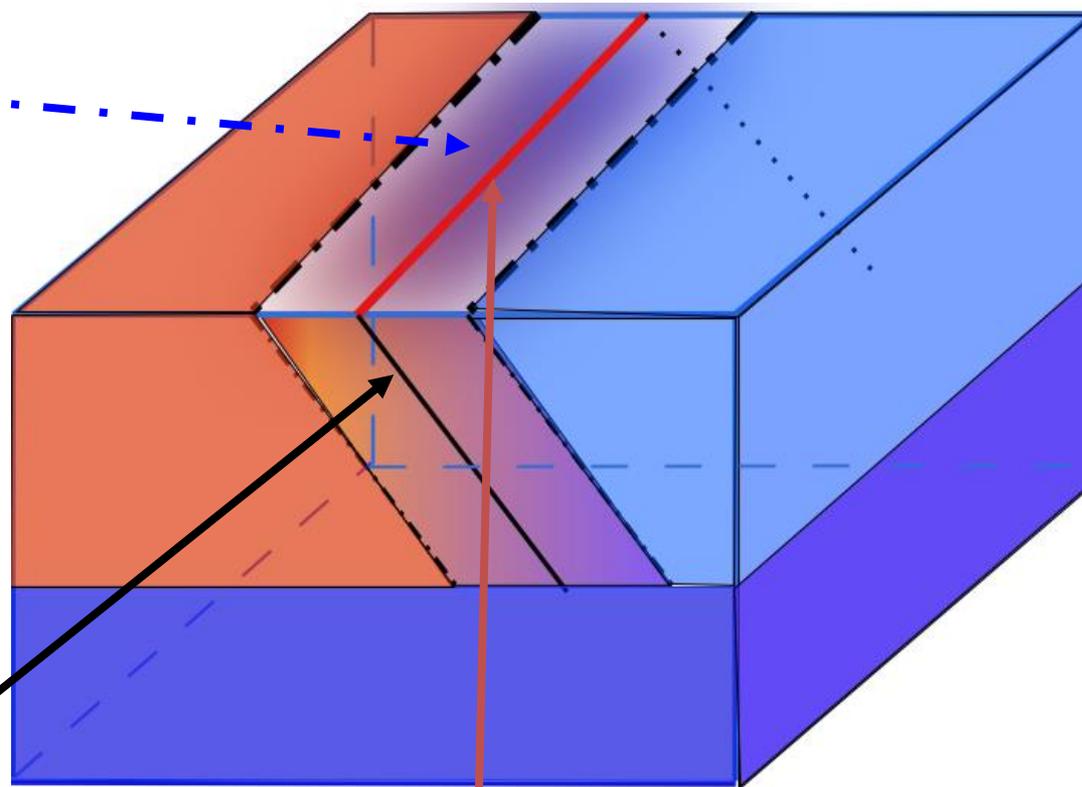


Система океанографических фронтов и фронтальных зон Южного океана

Разграничения, определения, классификации

- *Считаем зоной фронта в Южном океане* такую зону, в которой *градиенты* гидрологических полей *обострены по сравнению со средними градиентами* вне её. Отсюда,
- *фронтальным разделом* будем называть поверхность внутри зоны фронта, *совпадающую с поверхностью максимального градиента* гидрологических полей (Федоров, 1983). Тогда
- *фронт* - это след пересечения фронтального раздела с любой выбранной поверхностью, в нашем случае, *с поверхностью Южного океана.*

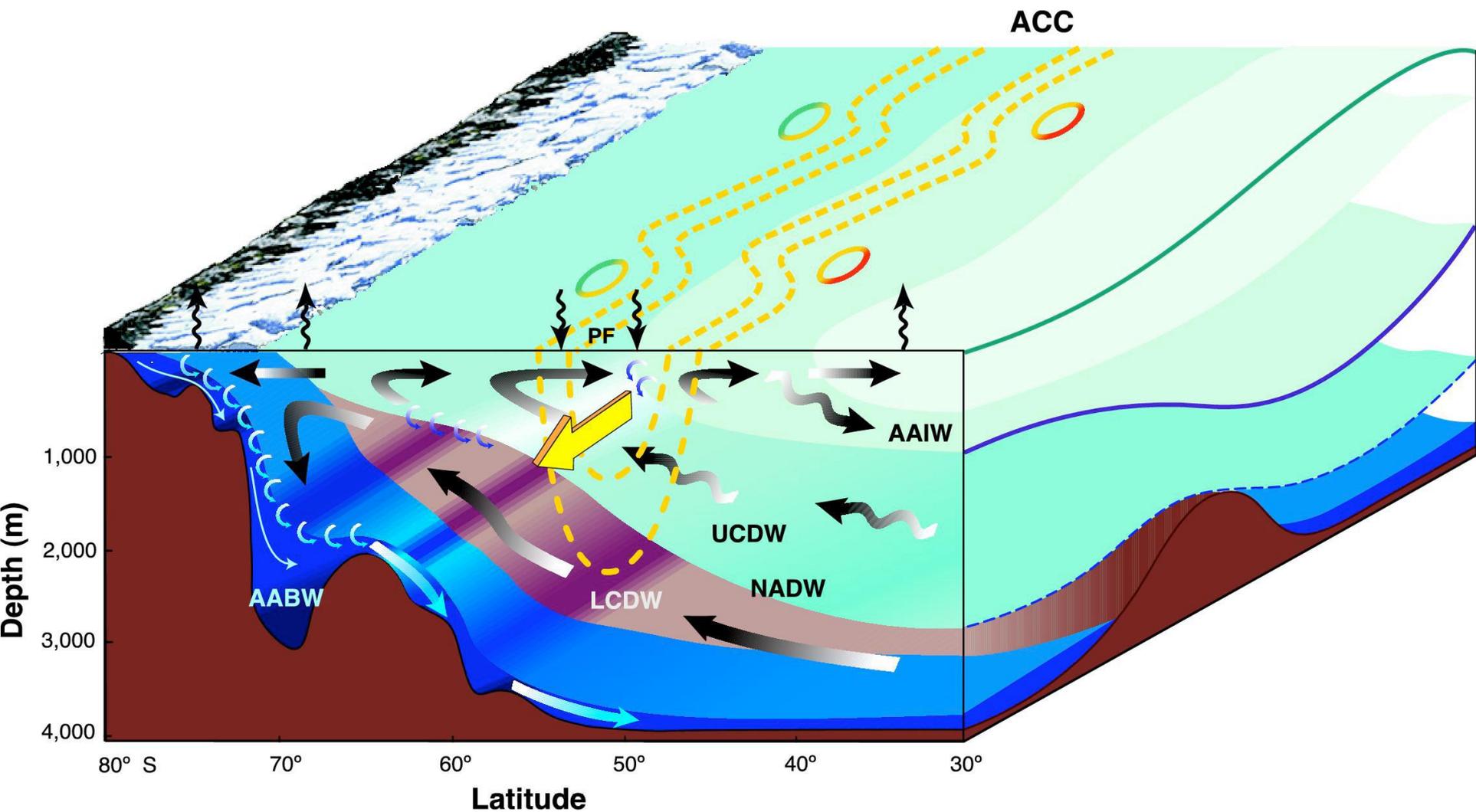
Зона фронта – это область, в которой градиенты гидрологических полей весьма обострены по сравнению со средними градиентами вне её.



Фронтальный раздел – поверхность внутри зоны фронта, совпадающая с поверхностью максимального градиента гидрологических полей.

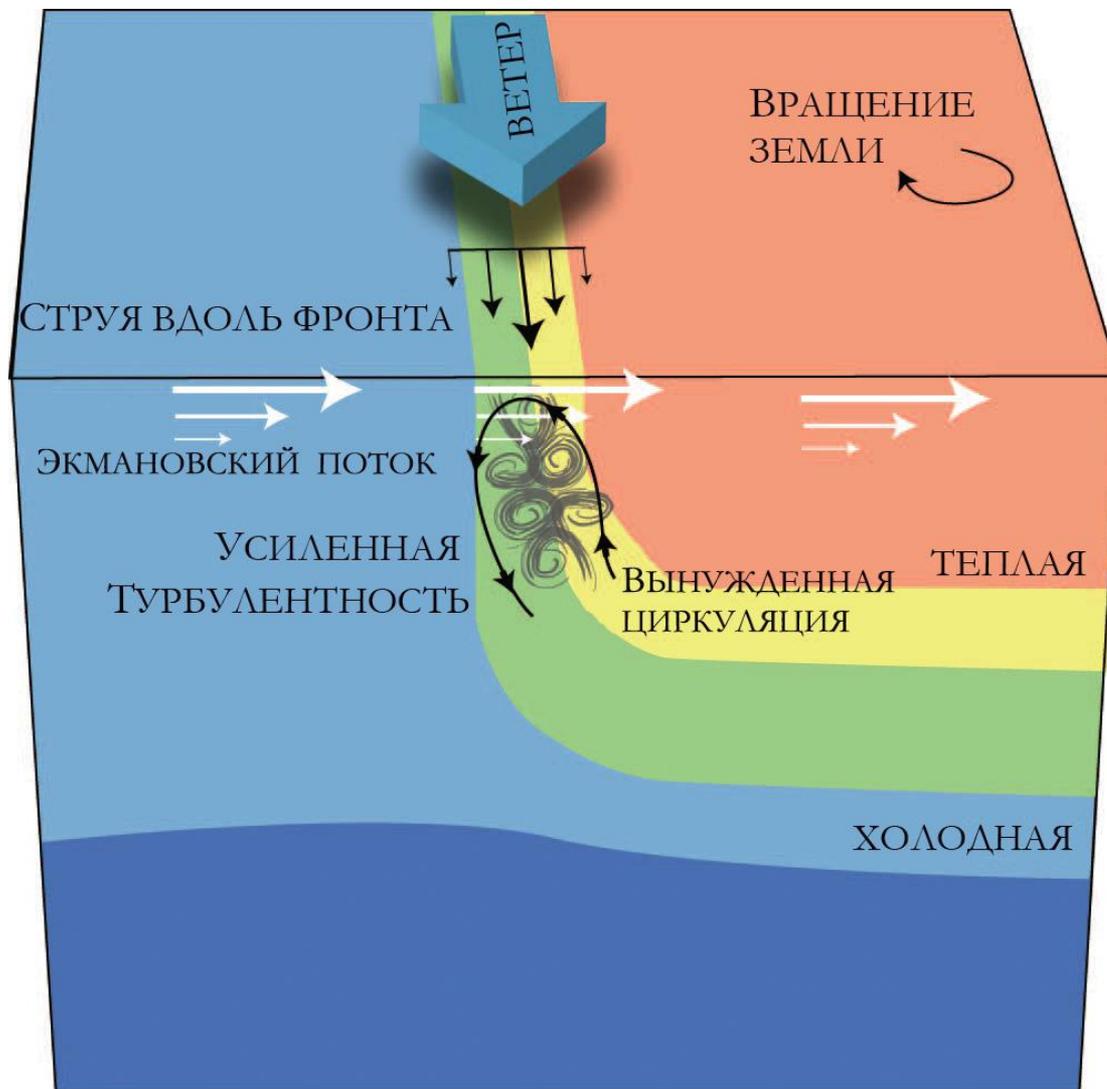
Фронт – это линия пересечения фронтального раздела с любой выбранной поверхностью, в нашем случае, с поверхностью Южного океана.

Схема Меридиональной Ветрикальной Циркуляции (МВЦ) Южного океана обуславливаемой донной топографией, вихревыми потоками и индуцированной перемешиванием вторичной циркуляцией и Экмановской динамикой на поверхности. (Adapted from Speer, et al. 2000)



В рамках классической парадигмы и в современных климатических моделях турбулентность в поверхностном слое океана порождается воздействием атмосферы. Данные авторов количественно поддерживают гипотезу, что ветер вместе с фронтальной струёй на поверхности способствуют освобождению энергии фронта для турбулентности.

[Adapted from:](#) (Eric D'Asaro, et al. Enhanced Turbulence and Energy Dissipation at Ocean Fronts. Science 2011)



«Фронтальный вызов климатическим моделям»

- «Поверхность океана полностью покрыта сетью извилистых «фронтов», которые разделяют воды с разной температурой и солёностью. Точно также как тонкие капилляры в лёгких человека, называемые альвеолами, служат быстрому обмену газами при дыхании, фронты это капилляры через которые тепло, углерод, кислород и другие климатически важные газы проникают в глубину океана. Недостаток наблюдений, однако, затрудняет прогресс в понимании динамики фронтов, которые могут быть как узкими в сотни метров, так и широкими в десятки километров.
- Фронты, так или иначе, являются важным элементом климатической системы взаимодействия океана и атмосферы... В настоящее время, однако, модели океана, используемые для изучения климата, ... основаны на сетках, ячейки которых гораздо крупнее, чем типичная ширина фронтов. Хотя эти модели могут быть настроены так, чтобы воспроизвести совместный эффект фронтов в условиях современного климата, их возможности предсказывать влияние фронтов на будущий климат неизвестны. По существу мы имеем дело с моделями лёгких океана, которые не учитывают альвеол».

Генеральное направление экспедиционных работ кафедры океанологии в Южном океане в период 2007–2015 г.г. в сезонах 53–55; 57, 58 и 60-й Российских антарктических экспедиций (РАЭ):

- получение *новых* сведений о наличии (или отсутствии) **изменений** широтного местоположения основных фронтов Южного океана,
- как **свидетельств** проявлений глобального потепления в поверхностном слое вод Мирового океана.

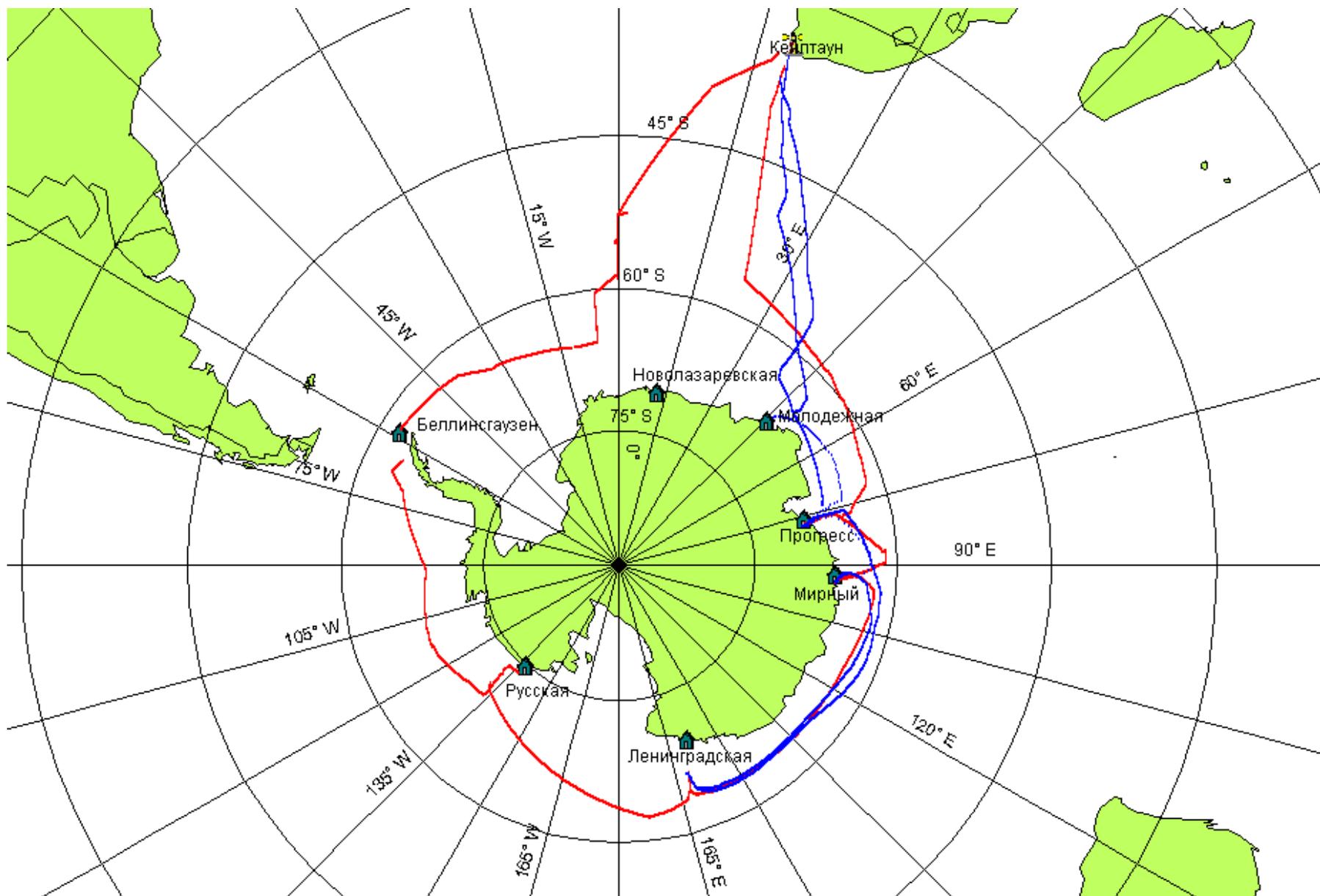
**Цель наших исследований в период выполнения
сезонных операций РАЭ
на НЭС «Академик Фёдоров» и «Академик Трёшников:**

основываясь на непрерывных *попутных* измерениях
температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ),

**осуществить *синоптический* мониторинг положения
основных фронтов Южного океана,**

**как метод изучения межгодовой изменчивости одного из
главных океанических индикаторов климата Антарктики.**

Синоптический мониторинг поверхностных термических фронтов Южного океана



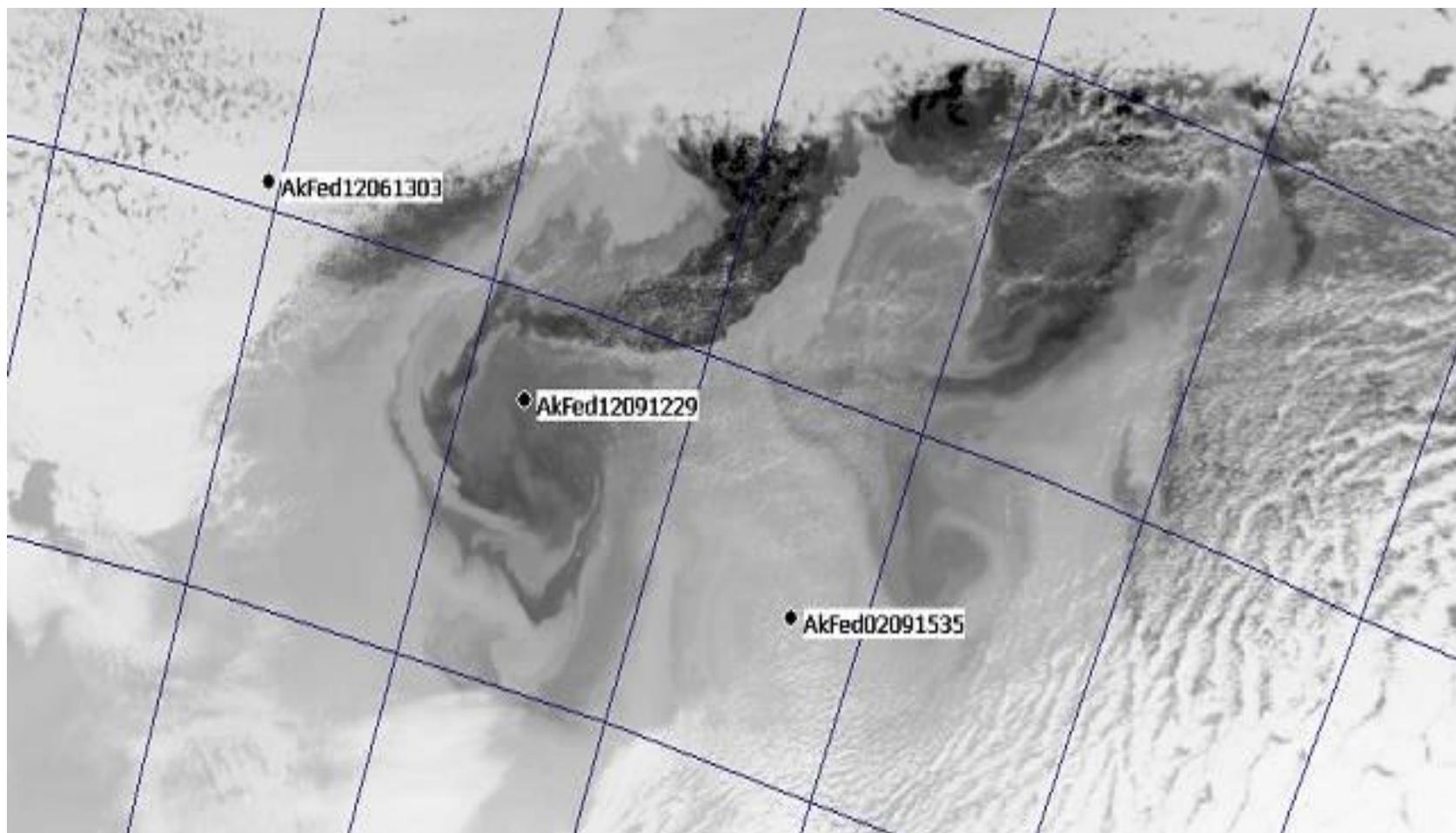
Задачи работ на борту НЭС:

- **определение температурных характеристик** горизонтальных градиентов температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ) и протяженности зон основных климатических фронтов по данным судовой автоматической метеостанции;
- **определение географического положения** термических фронтов по спутниковым (NOAA AVHRR) изображениям поверхности океана в ИК-диапазоне электромагнитного спектра – температуре поверхности моря (ТПМ)

Отличие нынешних исследований – возможность *точной географической привязки* непрерывных измерений ТПСМ по ходу судна, и наличие *спутниковых данных высокого пространственного разрешения* о градиентах ТПМ

- Это стало реальным **благодаря двум важнейшим технологическим новшествам** в использовании оперативных данных *in situ* о ТПСМ регистрируемых по ходу судна, и *дистанционных*, спутниковых наблюдений за ТПМ. А именно,
- возможности **весьма точного определения текущего местоположения движущегося судна с помощью GPS**, во-первых, и
- **ГИС-технологий**, лежащих в основе программных продуктов **для оперативной работы на борту НЭС со спутниковыми изображениями поверхности океана** в отдельных диапазонах электромагнитного спектра излучения – ЭМС, во-вторых.
- Оказалось возможным **детальное** определение количественных характеристик горизонтальных градиентов и протяженности фронтальных зон по непрерывным данным о ТПСМ судовой автоматической метеостанции, с одновременной регистрацией GPS их пространственного местоположения и
- **точное** определение географического положения фронтальных зон по спутниковым изображениям поверхности океана в ИК-диапазоне ЭМС.

Меандрирование и вихреобразование в области основных циркумполярных фронтальных разделов Южного океана



Фрагмент ИК спутникового снимка 12061303 HRPT NOAA-19 от 06.12.2009 области пересечения судном Субантарктического фронта. След фронтального раздела САФ - $44^{\circ}55'$, широтная протяженность $44^{\circ}40' - 45^{\circ}45'$.

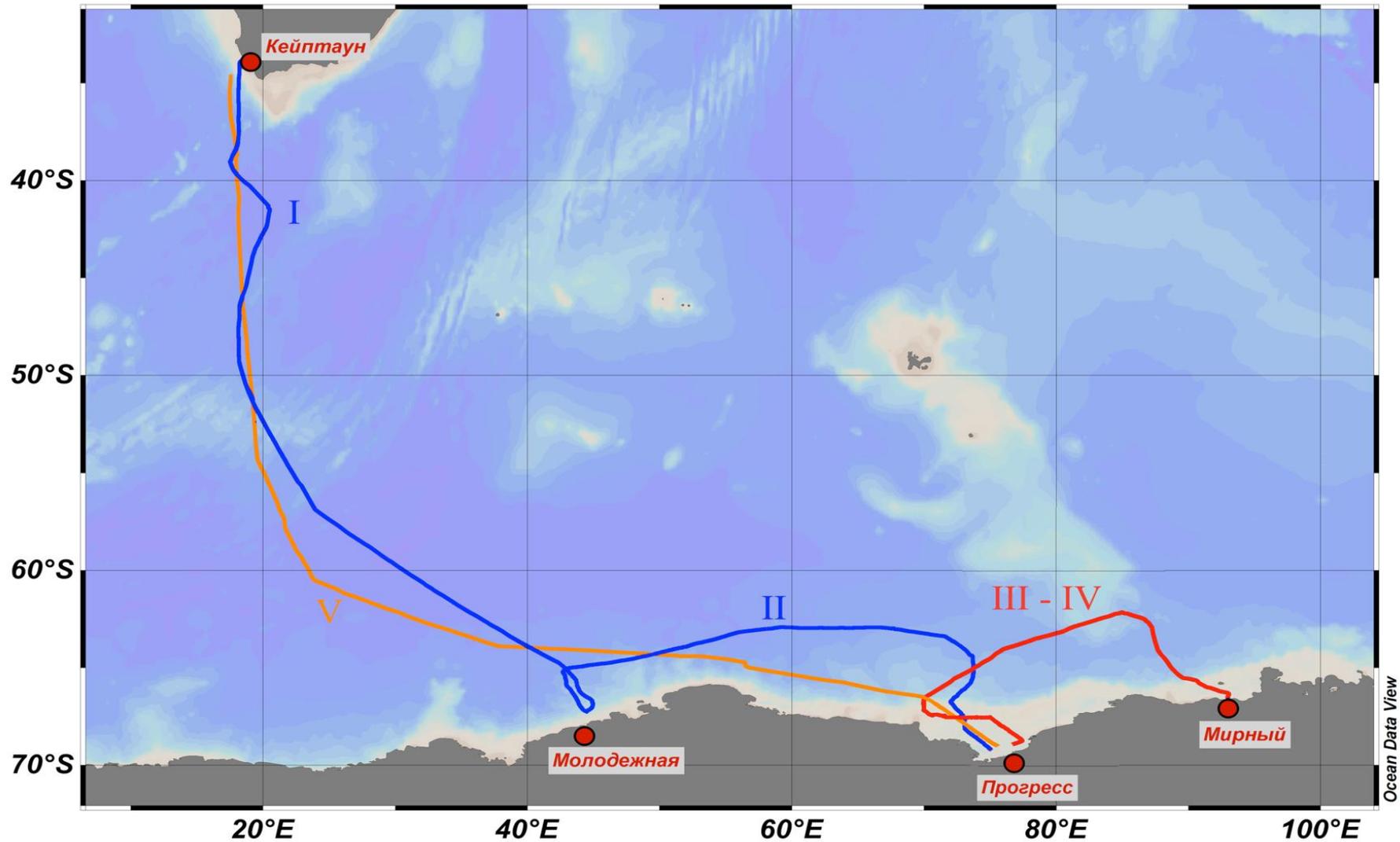
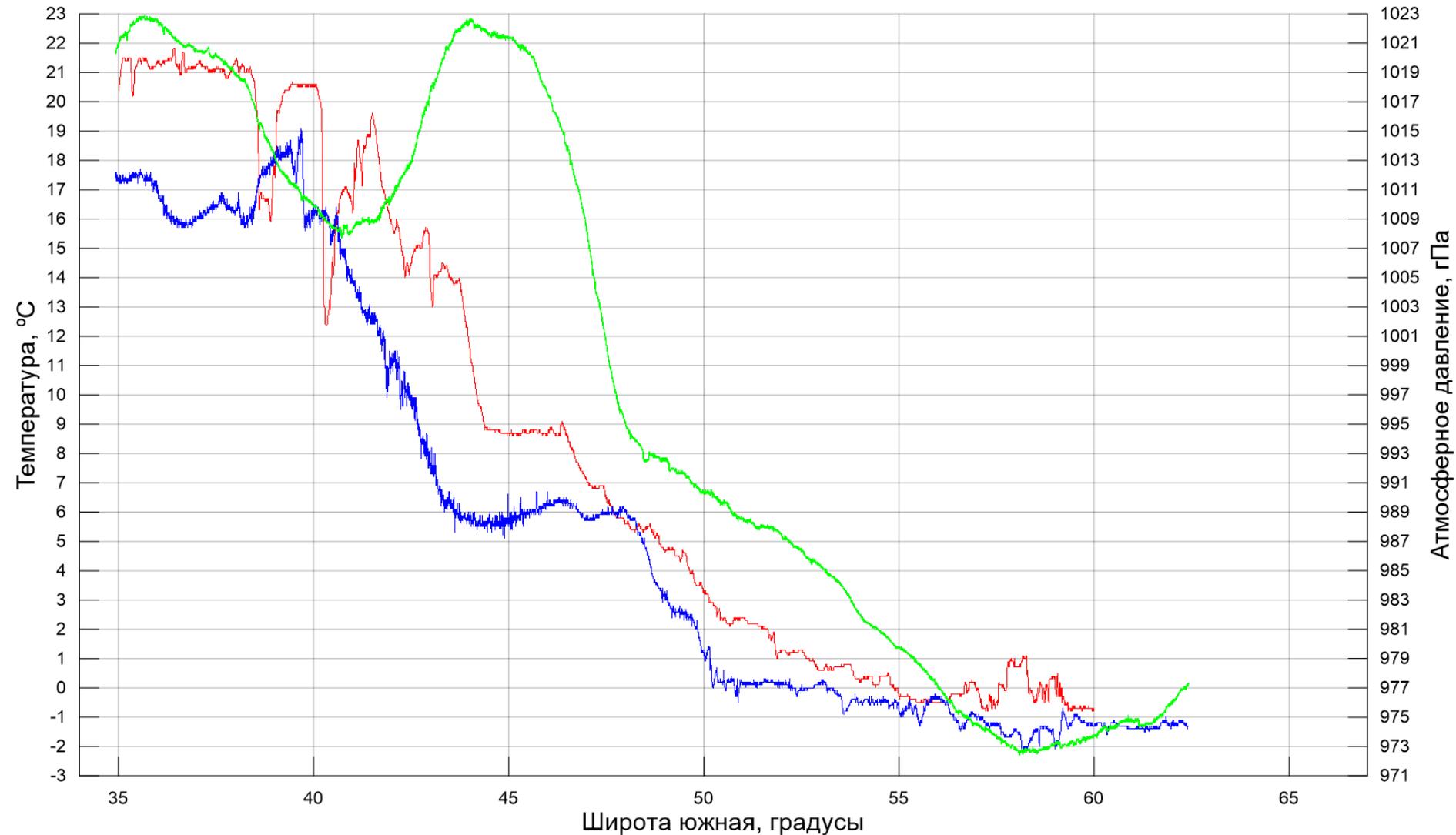
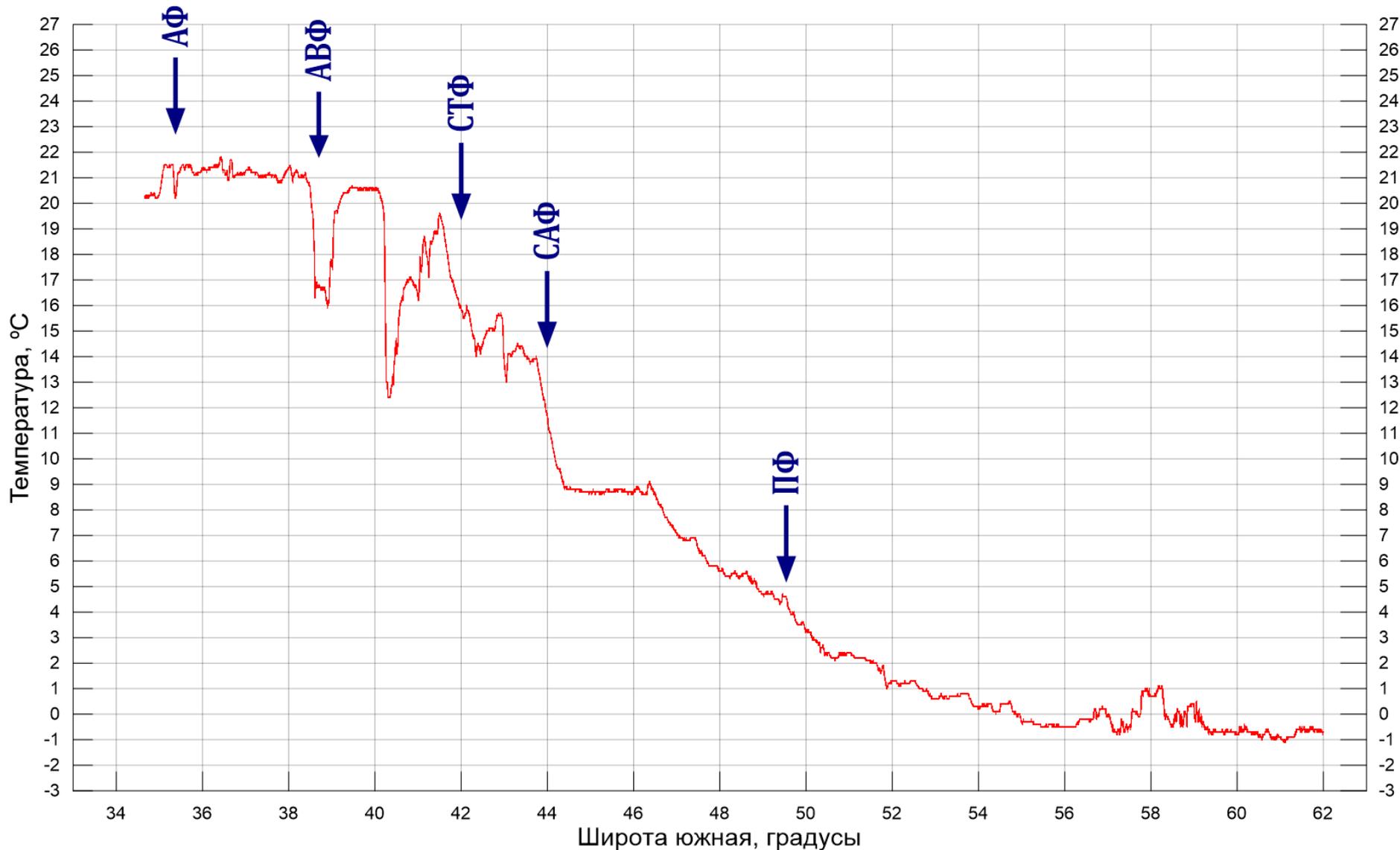


Схема разрезов ТПСМ, выполненных на НЭС «Академик Фёдоров» в сезонный период 60 РАЭ.



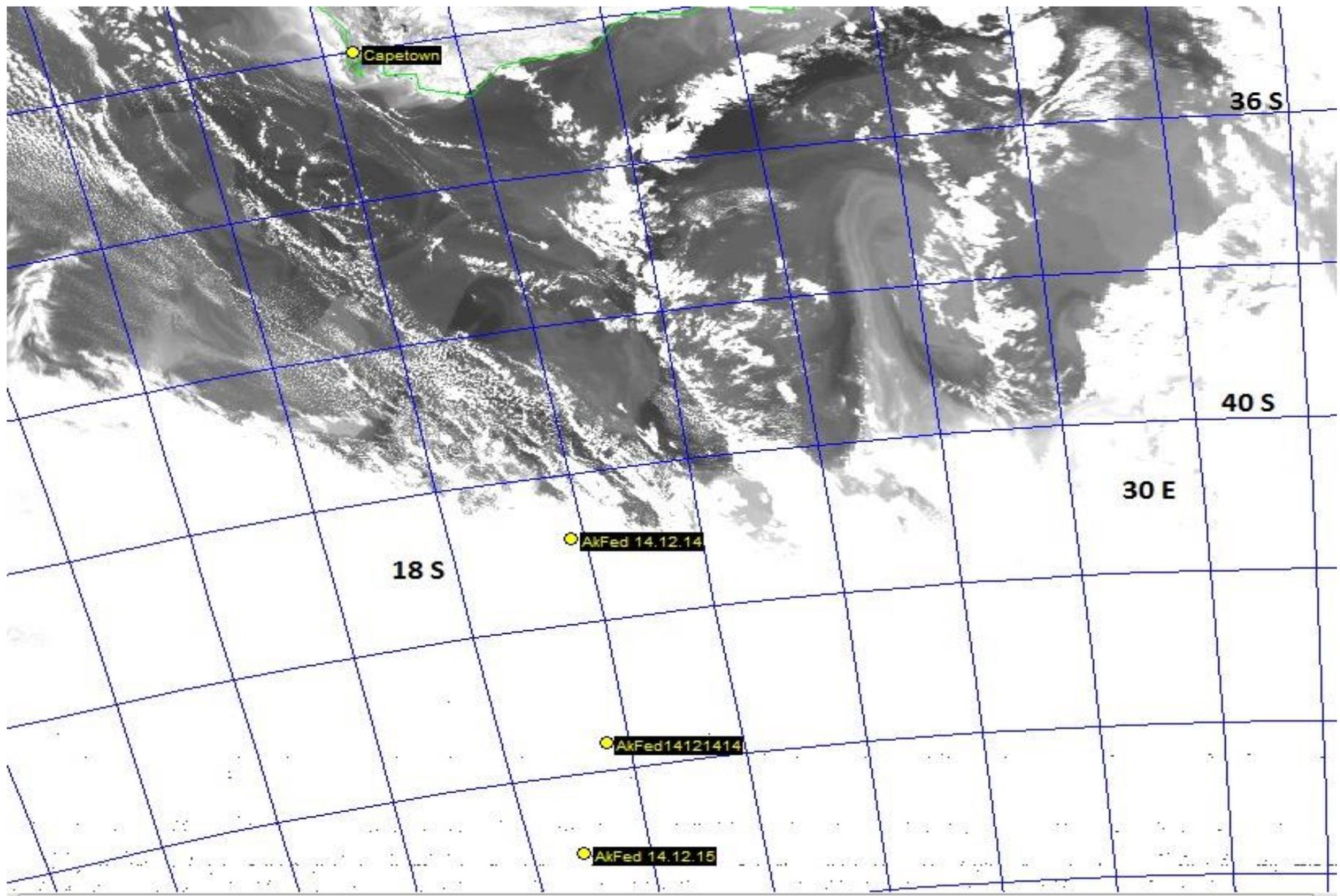
Изменение с широтой значений ТПСМ (красным), температуры воздуха (синим) и атмосферного давления (зелёным) на разрезе п. Кейптаун – ст. Молодёжная



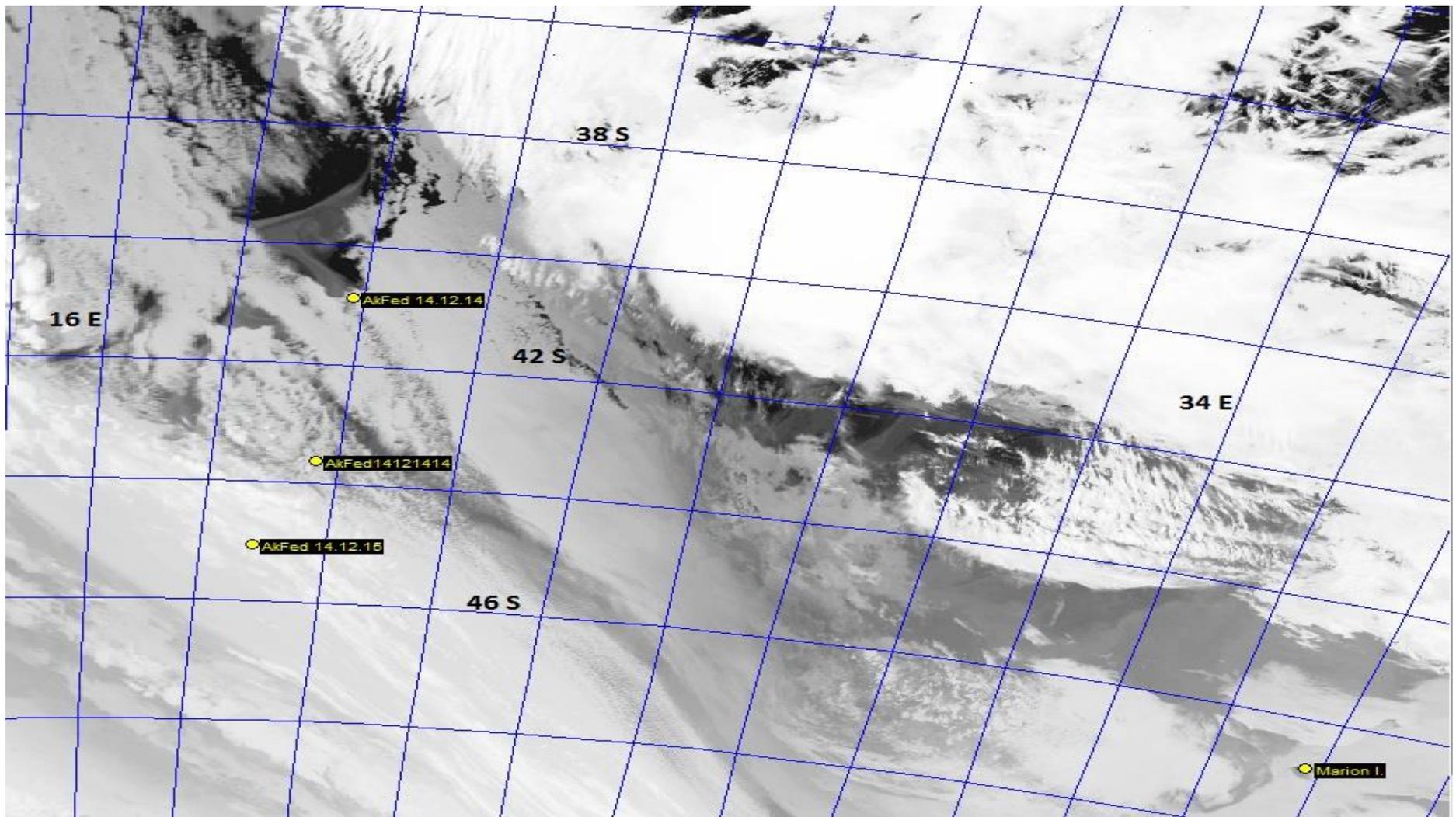
Температура поверхностного слоя моря на разрезе п. Кейптаун – ст. Молодёжная, 60 РАЭ, декабрь 2014.

Стрелками указаны оси основных фронтов:

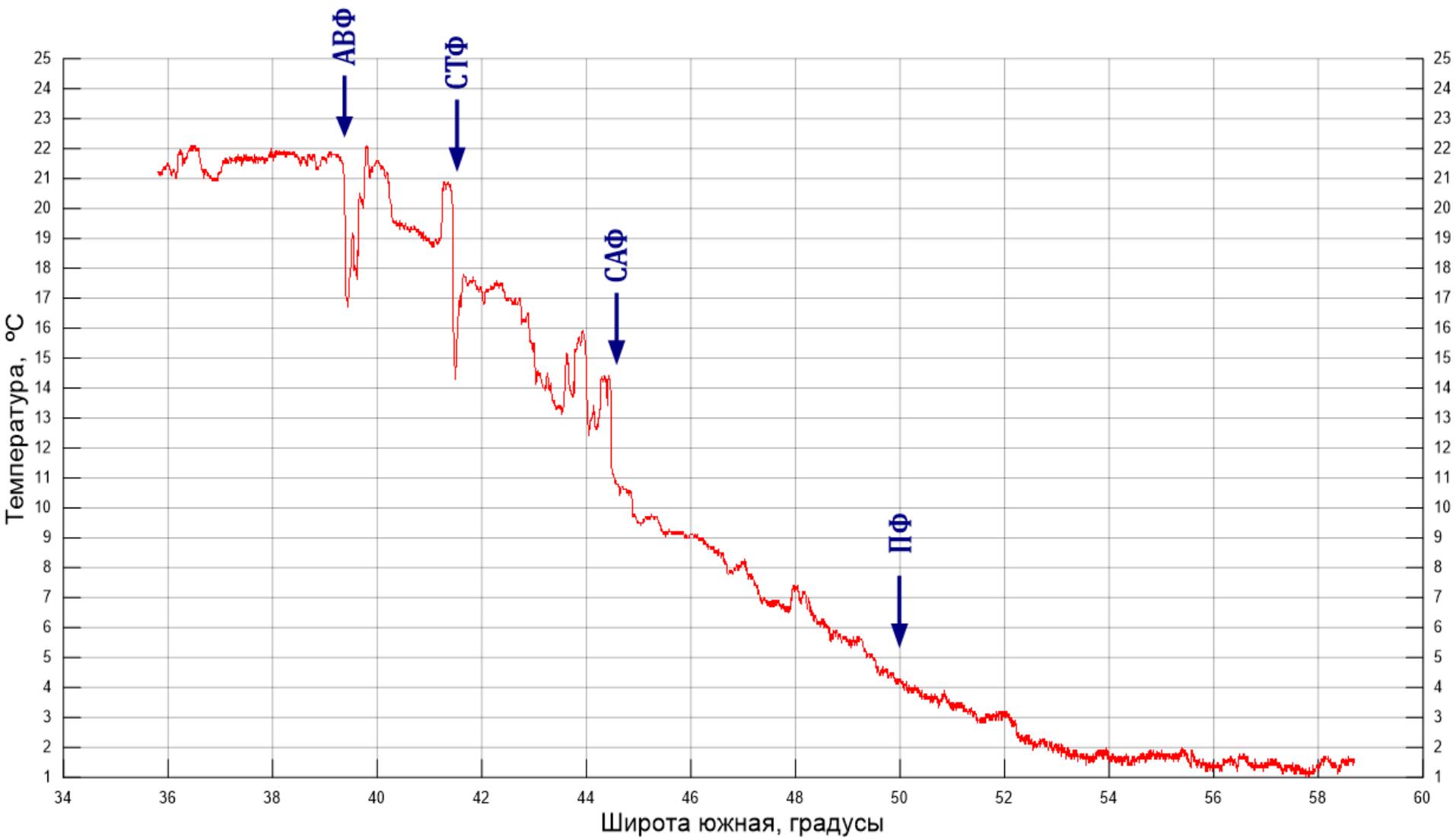
Агульсова, Агульсова возвратного, Субтропического, Субантарктического и Полярного (Антарктической конвергенции).



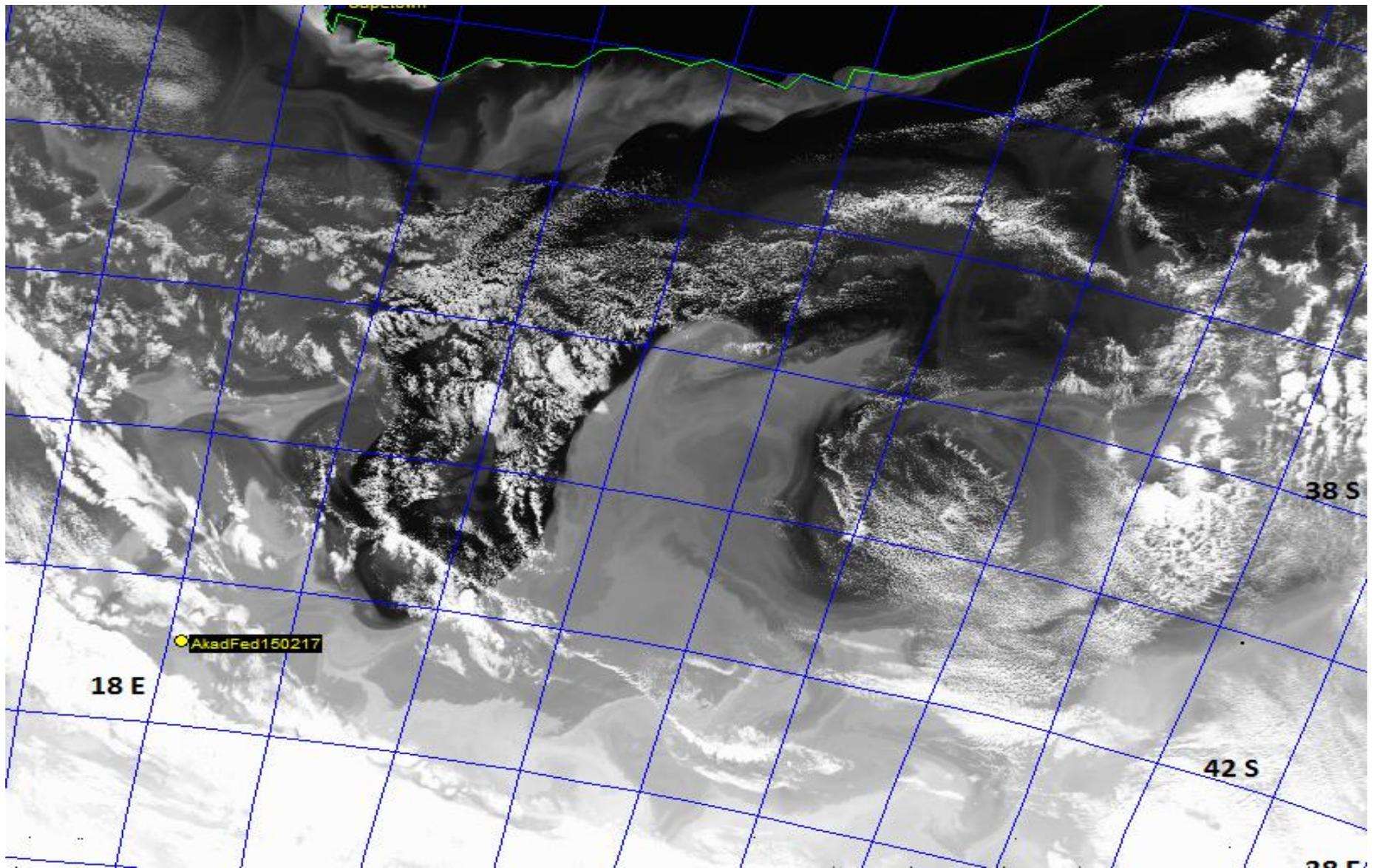
Фрагмент спутникового ИК снимка 20141216_002513 от 16.12.2014 на область пресечения судном Агульсовых фронтов (АФ и АВФ). Ринг с ядром тёплой воды (более тёмный тон изображения) диаметром 400 км, холодный вихрь (более светлый тон изображения) диаметром 350 км.



Фрагмент спутникового ИК снимка 20150213_145626 от 13.02.2015 на область пресечения судном Агульсовых фронтов (АФ и АВФ) в феврале. Сегмент того же, что и в декабре ринга с ядром тёплой воды, с меньшим диаметром – 300 км, но с гораздо большим по площади тёплым ядром примерно с теми же координатами его центра: 38° S; 18° E. СТФ к востоку от пути судна в координатах 43° S; 15° – 32° E.



Температура поверхностного слоя моря (ТПСМ) на меридиональной части разреза ст. Прогресс – п. Кейптаун. 60 РАЭ, февраль 2015. Стрелками указаны оси основных фронтов: Агульсцова возвратного, Субтропического, Субантарктического и Полярного.



Фрагмент спутникового ИК снимка 20150217_124746 от 17.02.2015 на область пресечения судном Агульсовых (АФ и АРФ), Субтропического фронта (СТФ) под $\sim 42^\circ$ ю.ш.; Субантарктического (САФ) под $\sim 44^\circ$ ю.ш. фронтов в феврале.

Характеристики основных циркумполярных фронтов по непрерывным судовым наблюдениям ТПСМ

Название фронта	Дата пересечения фронта	Широтное положение оси фронта	Зона фронта		Интервал температур, °C		Ширина зоны фронта, км	Средний градиент, °C/км
			от	до	от	до		
СТФ	14.12.2014	42°,0	41°30'	42°26'	19.6	14.1	104	0.05
САФ	14.12.2014	44°,0	43°44'	44°25'	13.9	8.9	76	0.07
ПФ(АК)	15.12.2014	49°,5	48°34'	50°37'	5.5	2.2	227	0.02



Поверхностный фронт в заливе Прюдс у Российской Антарктической станции Прогресс.

Благодарю за внимание!



Есть ли вопросы?