

Коник А.А.<sup>1,2</sup>, Зимин А.В.<sup>1,2</sup>

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН<sup>1</sup>

Санкт-Петербургский государственный университет<sup>2</sup>

# **Внутригодовая изменчивость характеристик Полярной фронтальной зоны в Баренцевом море по данным температуры поверхности и уровня моря**

# Актуальность

Фронтальные зоны Мирового океана в последние десятилетия привлекают к себе все большее внимание, так как являются зонами с повышенными градиентами характеристик гидрологических полей, реагирующими на различные колебания в системе океан-атмосфера (Kostianoy, 2004; Barton et al., 2018). Особенно актуально исследовать данное природное явления в Арктическом регионе в условиях меняющегося климата и уменьшения ледового покрова (Serreze et al., 2018).

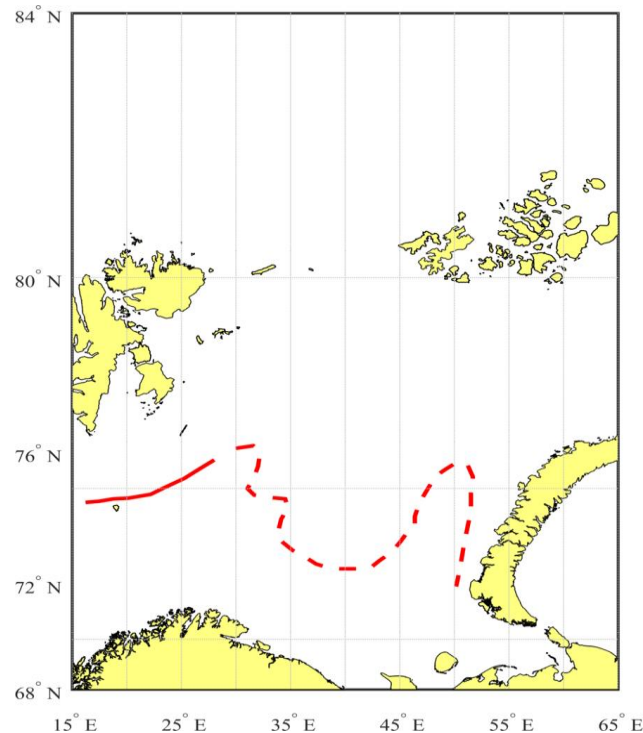


Рис. 1. Климатическое положение Полярной фронтальной зоны (Kostianoy, 2004). Сплошной линией показано устойчивое, прерывистой – сезонно-меняющееся положение Полярной фронтальной зоны

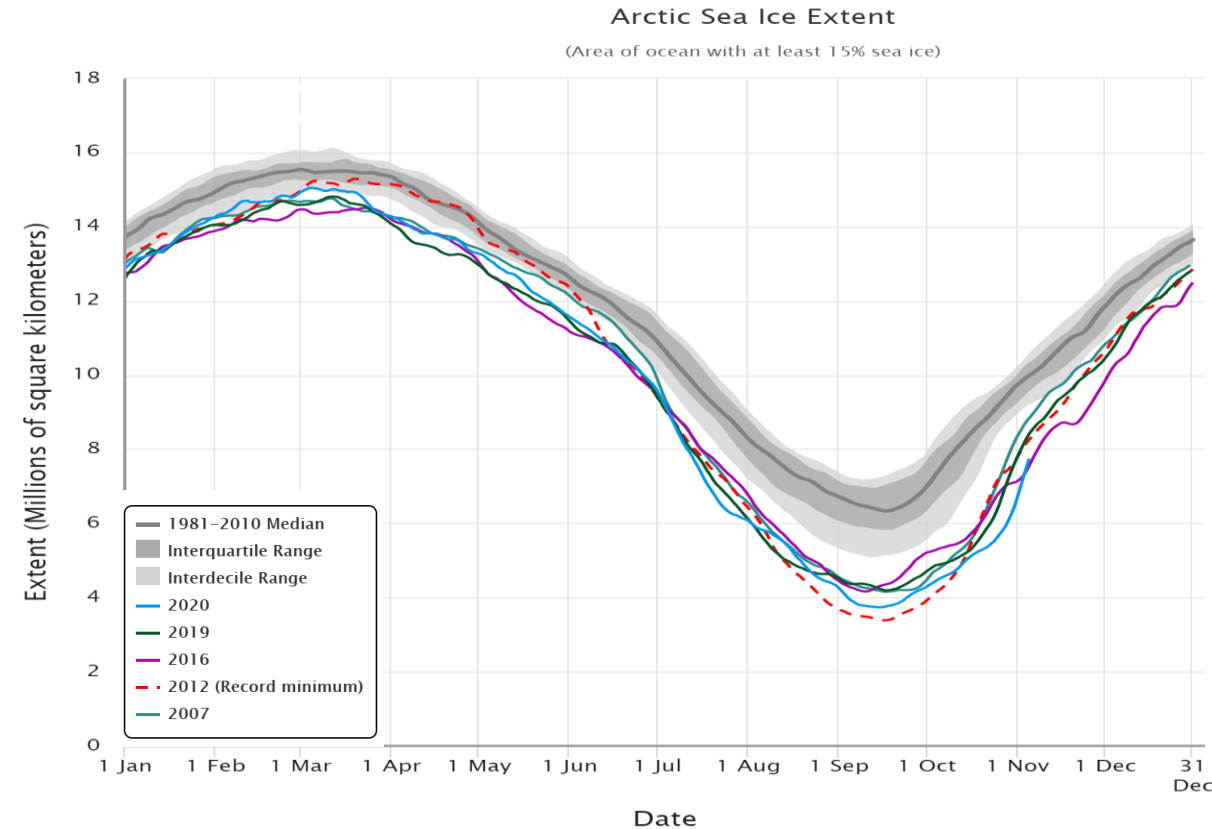


Рис. 2. Годы с минимальной площадью ледового покрова в Арктике по данным сайта <https://nsidc.org/> (дата обращения 06.11.2020).

# Актуальность

Для Баренцева моря характерно множество локальных сезонных фронтальных зон, которые характеризуются неустойчивостью в пространстве и времени (Ожигин и др, 2016).

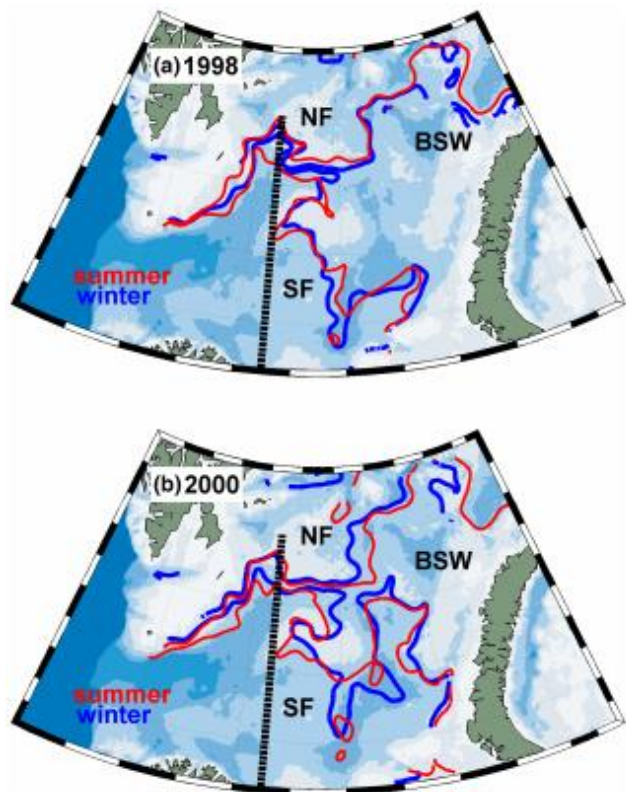


Рис. 3. Пример выделения ПФЗ в 1998 и 2000 гг. по данным температуры поверхности моря (Oziel et al., 2016).

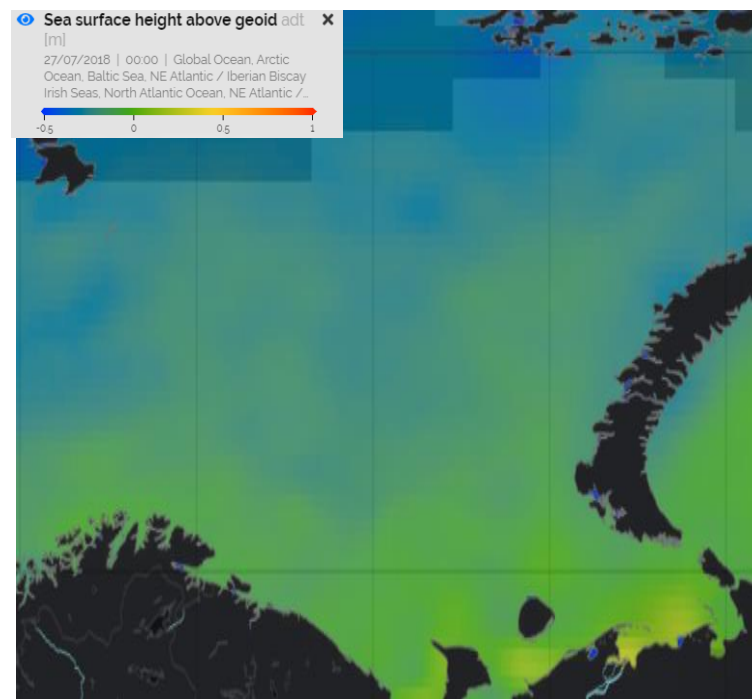


Рис. 4. Колебания абсолютной динамической топографии в Баренцевом море 20 августа 2019 года по данным сайта <https://cmems.lobelia.earth.eu> (дата обращения 06.11.2020).

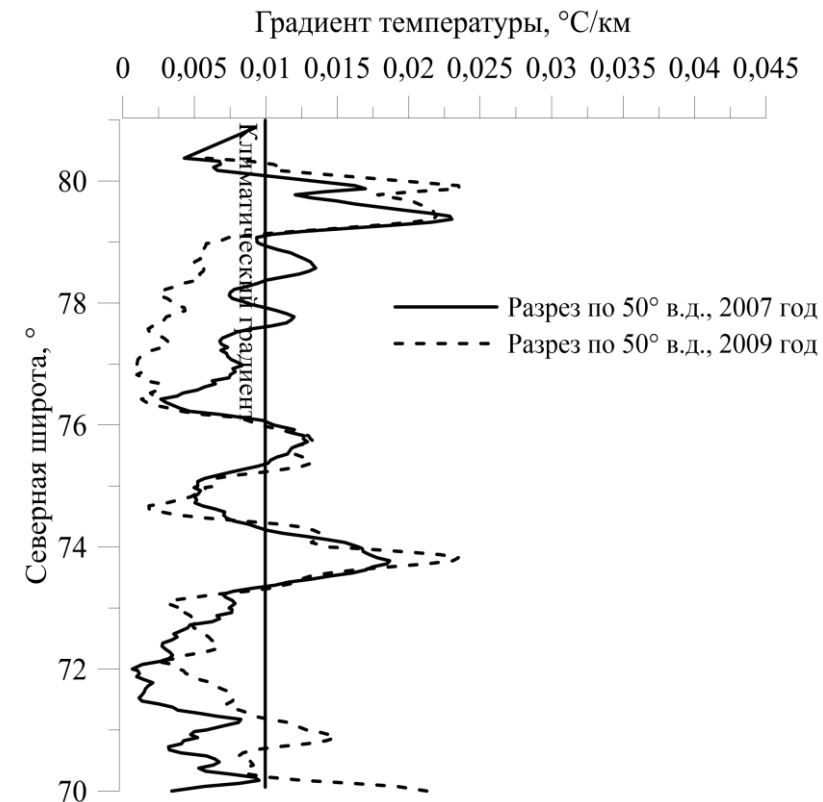


Рис. 5. Среднемесячная изменчивость градиента температуры поверхности моря в районе Полярного фронтальной зоны на разрезе 50° в.д. в августе 2007 и 2009 годов (Коник и др., 2020).



## Цель работы и исходные данные

Цель данного исследования описать особенности термических и динамических фронтов в области ПФЗ в 2019 году.

Для данного исследования были использованы среднемесячные данные с января по декабрь 2019 года:

- Температуры поверхности моря (ТПМ) инфракрасного радиометра VIIRS спутника Suomi NPP уровня обработки L3 с пространственным разрешением 4 км (Liu et al., 2016) с сайта <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>;
- Альтиметрических измерений международной исследовательской программы Copernicus (Arbic et al., 2012), в котором представлены данные абсолютной динамической топографии (АДТ) в узлах регулярной сетки с шагом  $0,25^\circ$  по широте и долготе с сайта <https://www.copernicus.eu/en>;

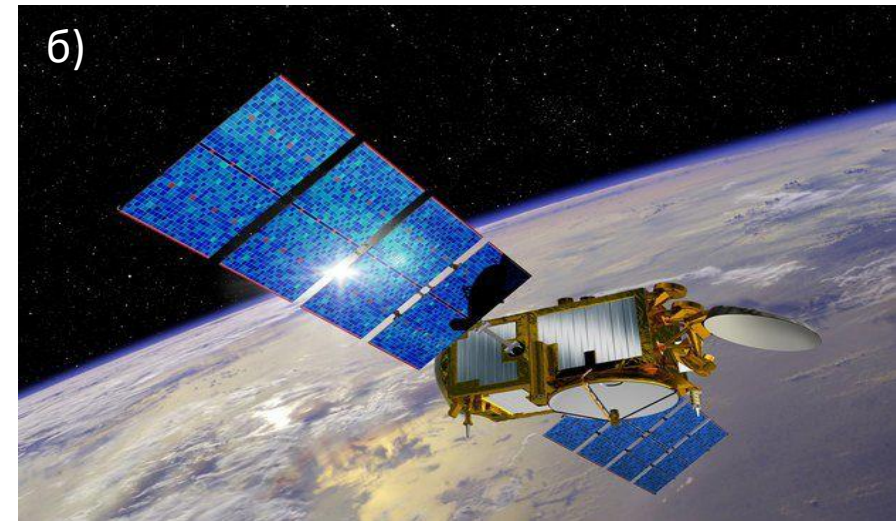


Рис. 6. Виды спутников, которые были использованы в исследовании: а – Suomi NPP Viirs (данные температуры поверхности); б – Jason 3 (данные колебаний абсолютной динамической топографии).

# Методика исследования

Методика выделения термических фронтальных зон основывается на построении композитных карт, совмещающие в себе рассчитанные градиенты характеристик (Ожигин и др., 2016) и изолинии температуры поверхности вод Баренцева моря (Давидович, 2014), которые будут соответствовать основному фронтальному разделу. Оценка количественных характеристик производится по данным меридиональных разрезов в западной, центральной и восточной частях моря.

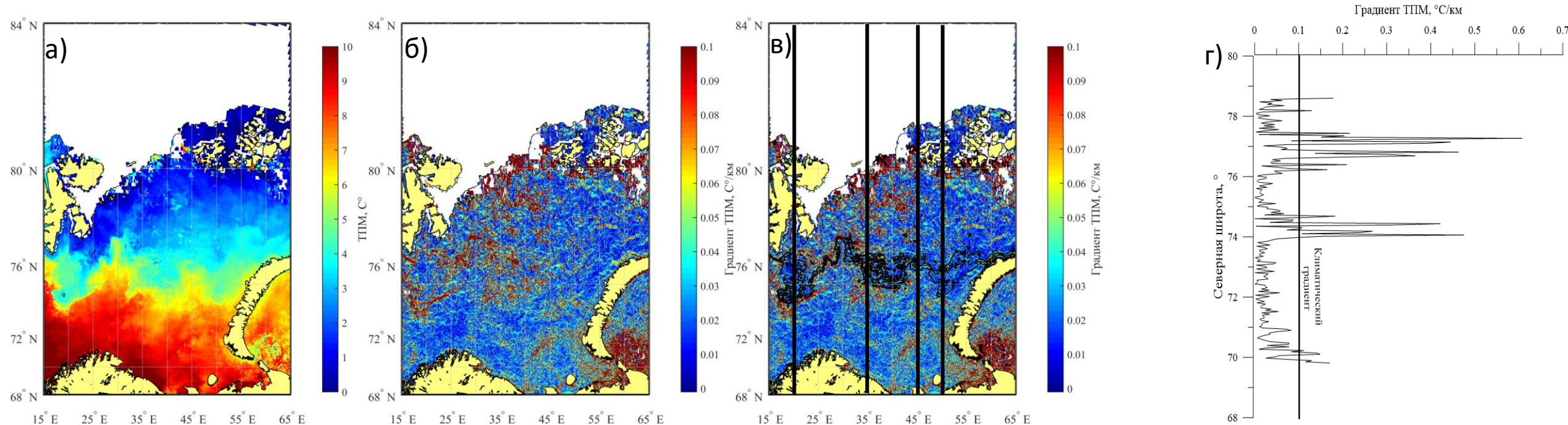


Рис. 7. Методика выделения фронтальной зоны на примере данных ТПМ: а – распределение ТПМ Баренцева моря в сентябре 2019 года; б – рассчитанный градиент ТПМ Баренцева моря в сентябре 2019 года; в – композитная карта градиентов температуры и изолиний температуры поверхности Баренцева моря в сентябре 2019 года; г – меридиональный разрез на 20° в.д. по данным которого проводились оценки количественных характеристик ПФЗ. Белым цветом показано среднемесечное положение ледового покрова.

# Результаты работы

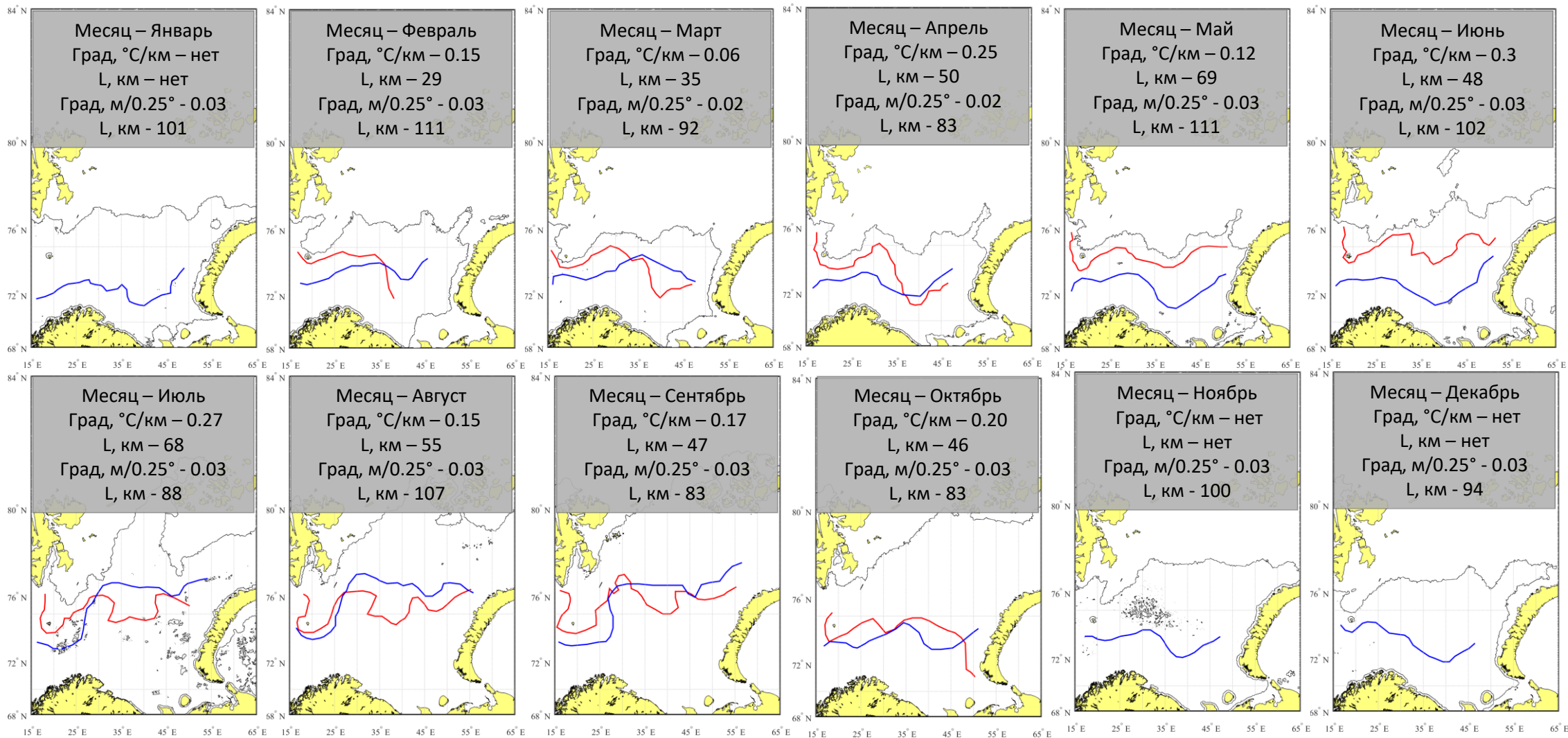


Рис. 8. Среднемесячная динамика изменчивости Полярной фронтальной зоны по спутниковым данным ТПМ (сплошная красная линия) и данным АДТ (сплошная синяя линия) за 2019 год. Белым цветом показано среднемесячное положение ледового покрова.



# Выводы

- Положение термических и динамических фронтов внутри фронтальной зоны преимущественно совпадают.
- Динамика внутригодовой изменчивости положения термической ПФЗ характеризуется устойчивым положением в районе о. Медвежий и сдвигами в восточной части моря. По данным абсолютной динамической топографии ПФЗ характеризуется устойчивым положением в зимние месяцы и сдвигами в юго-восточной части моря в летний сезон.
- Установлено, что в 2019 году климатическое положение ПФЗ в северо-западной части Баренцева моря остается неизменчивым, однако отличительной чертой ПФЗ являются ее характеристики: малая средняя ширина фронта и более высокие градиенты нежели в прошлые годы.
- Полученные результаты показывают, что спутниковые данные позволяют на регулярной основе исследовать среднемесячную изменчивость фронтальных зон Баренцева моря.

Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-35-90053).

Спасибо за внимание!!!





# Список литературы

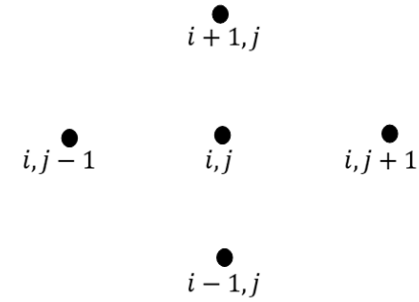
1. Башмачников И.Л. Сезонная и межгодовая изменчивость положения динамических и термических фронтов Баренцева, Норвежского и Гренландского морей // Материалы научной конференции «Моря России: наука, безопасность, ресурсы». Севастополь, 3-7 октября 2017 года. Севастополь: Морской гидрофизический институт РАН, 2017. С. 29.
2. Давидович В.А. Алгоритм автоматического распознавания температурных океанических фронтов // Океанология. 2014. Т.54. № 1. С. 105-112.
3. Ожигин В.К., Ившин В. А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость // Мурманск: ПИНРО, 2016. 216 с.
4. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов // Л.: Гидрометеоиздат. 1983. 296 с.
5. Arbic B.K., Scott R.B., Chelton D.B. et al. Effects on stencil width on surface ocean geostrophic velocity and vorticity estimation from gridded satellite altimeter data // J. Geophys. Res. 2012. Vol. 117.
6. Barton B.I., Lenn Y.D., Lique C. Observed Atlantification of the Barents Sea Causes the Polar Front to Limit the Expansion of Winter Sea Ice // Journal of Physical Oceanography. 2018. Vol. 48. No. 8. P. 1849-1866.
7. Kostianoy A.G., Nihoul J.C.J., Rodionov V.B. Physical Oceanography of Frontal Zones in the Subarctic Seas // Elsevier Oceanography Series, 2004. 316 p.
8. Liu Y., & Minnett P.J. Sampling errors in satellite-derived infrared sea-surface temperatures. Part I: Global and regional MODIS fields // Remote Sensing of Environment. 2016. No. 177. P. 48-64.
9. Oziel L., Sirven J., Gascard J.C. The Barents Sea frontal zones and water masses variability (1980–2011) // Ocean Science. 2016. Vol. 12. No. 1. P. 169-184.
10. Serreze M.C., Meier W.N. The Arctic's sea ice cover: trends, variability, predictability, and comparisons to the Antarctic // Annals of the New York Academy of Sciences. 2018. P. 1-18.

# Расчет градиентов

$$\frac{dP}{dx} = (P_{i,j+1} - P_{i,j-1})/2S_1$$

$P$  – значение параметра в узлах регулярной сетки, точки которой при вычислении имели следующую индексацию:

$$\frac{dP}{dy} = (P_{i+1,j} - P_{i-1,j})/2S_2$$



$$S_1 = 1,852 |\lambda_{j+1} - \lambda_j| \cos \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2}$$

$S_1$  – шаг расчетной сетки по параллели в км. Вследствие сходимости меридианов к полюсу, он не является постоянной величиной.

$$S_2 = 1,852 |\varphi_{i+1} - \varphi_{ij}|$$

$S_2$  – шаг расчетной сетки по меридиану, км. Величина постоянная.

$\varphi$  и  $\lambda$  – широта и долгота узлов расчетной сетки, град., мин. Модели разностей  $|\lambda_{j+1} - \lambda_j|$  и  $|\varphi_{i+1} - \varphi_{ij}|$  вычислялись в географических минутах.

Модуль горизонтального градиента рассчитывался по формуле:

$$|grad P| = \sqrt{\left(\frac{dP}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dP}{dy}\right)^2}$$