

Коник А.А.^{1,2}, Зимин А.В.^{1,2}

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Санкт-петербургский государственный университет

Особенности распространение поверхностного опресненного слоя и связанной с ним
Стоковой фронтальной зоны
в Карском море по спутниковым данным

Актуальность

Изменения в стратификации и циркуляции, связанные со стоковыми линзами, влияют на горизонтальные и вертикальные потоки биогенных элементов и, через распределение растворенных и взвешенных веществ, на световой режим верхнего слоя. Зоны смешения речных и морских вод играют ключевую роль в локальных шельфовых физических и биогеохимических процессах и во многом определяют функционирование прибрежных экосистем (Андреев, 2019). В связи с этим, актуальность исследования фронтальных зон в Карском море велика.

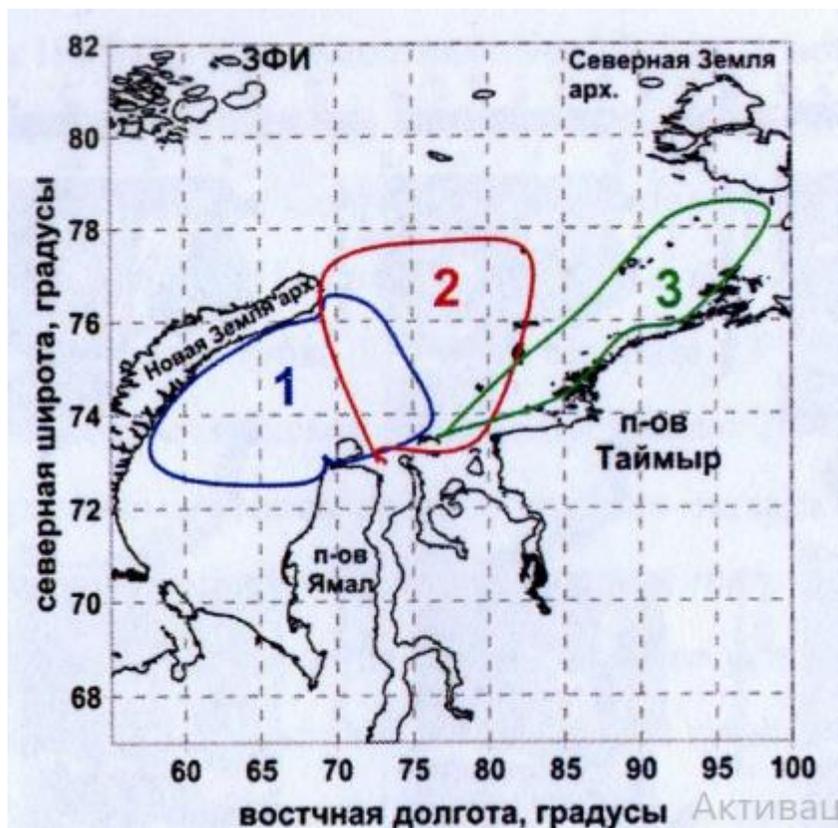


Рис. 1. Типы распространения стоковых вод в Карское море (Полухин, 2017).

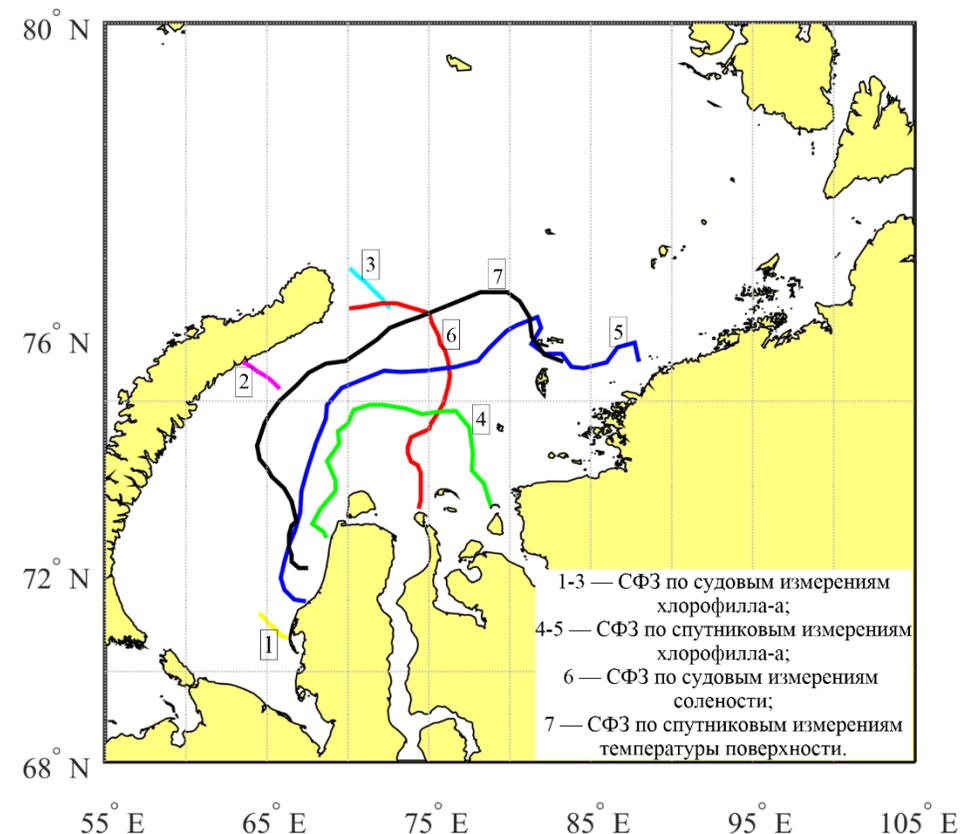


Рис. 2. Варианты выделения Стоковой фронтальной зоны в Карском море по данным судовых и спутниковых измерений в теплый период года (Мошаров, 2010; Завьялов и др., 2015; Гольдин и др., 2015; Коник и др., 2019).

Цель работы и исходные данные

Цель данной работы – на основе анализа спутниковых данных по температуре, солёности и уровню моря получить количественные оценки динамики и характеристик Стоковой фронтальной зоны Карского моря за тёплый период 2019 года.

Для данного исследования были использованы среднемесячные данные с августа по сентябрь 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>;
- Солёности поверхности моря (СПМ) спутника NASA SMAP с пространственным разрешением 0,25° по широте и долготе (Meissner et al, 2018) с сайта <https://podaac.jpl.nasa.gov>; Стоит отметить, что полученные данные о СПМ позволяют с большой точностью исследовать районы с интенсивным речным стоком.
- 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° по широте и долготе с сайта <https://www.copernicus.eu/en>;



Рис. 4. Виды спутников, которые были использованы в исследовании: а – Suomi NPP Viirs (данные температуры поверхности); б – NASA SMAP (данные поверхностной солёности); в – Jason 3 (данные абсолютной динамической топографии).

Методика исследования

Методика выделения фронтальных зон основывается на построении композитных карт, совмещающие в себе рассчитанные горизонтальные градиенты (Ожигин и др., 2016) и изолинии характеристик, которые будут соответствовать основному фронтальному разделу. Оценка количественных характеристик производится по данным меридиональных разрезов в западной, центральной и восточной частях моря, аналогично тому как это было сделано в работе (Коник и др., 2019).

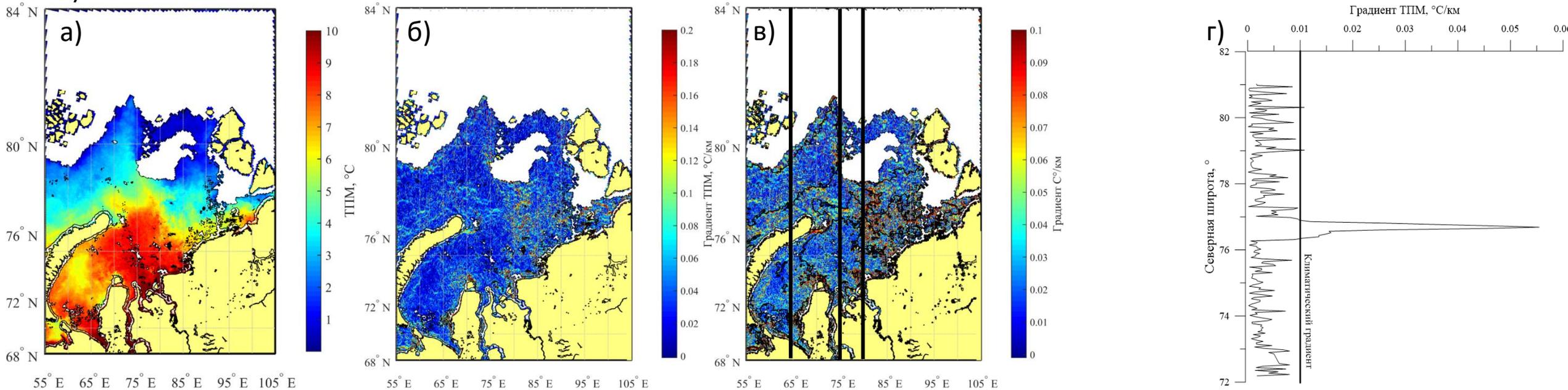


Рис. 5. Методика выделения фронтальной зоны на примере данных ТПМ: а – распределение ТПМ Карского моря в августе 2019 года; б – рассчитанный градиент ТПМ Карского моря в августе 2019 года; в – композитная карта градиентов температуры и изолиний температуры поверхности Карского моря в августе 2019 года, черными линиями показано положение меридиональных разрезов; г – меридиональный разрез на 75° в.д., по данным которого проводились оценки количественных характеристик СФЗ. Белым цветом показано среднемесечное положение ледового покрова.

Результаты работы

Полученные результаты при сравнении с данными стока Оби и Енисея (Кузин и др., 2014; Магрицкий и др., 2019) позволяют утверждать, что за счет весенне-летнего половодья Стоковая фронтальная зона ярко выражена в поле солености и уровня моря. В осеннюю межень сток ослабевает, соленостные и динамические градиенты уменьшаются, а радиационный прогрев усиливается за счет большей открытой ото льда площади, что приводит к более четкому проявлению фронтальной зоны в поле температуры.

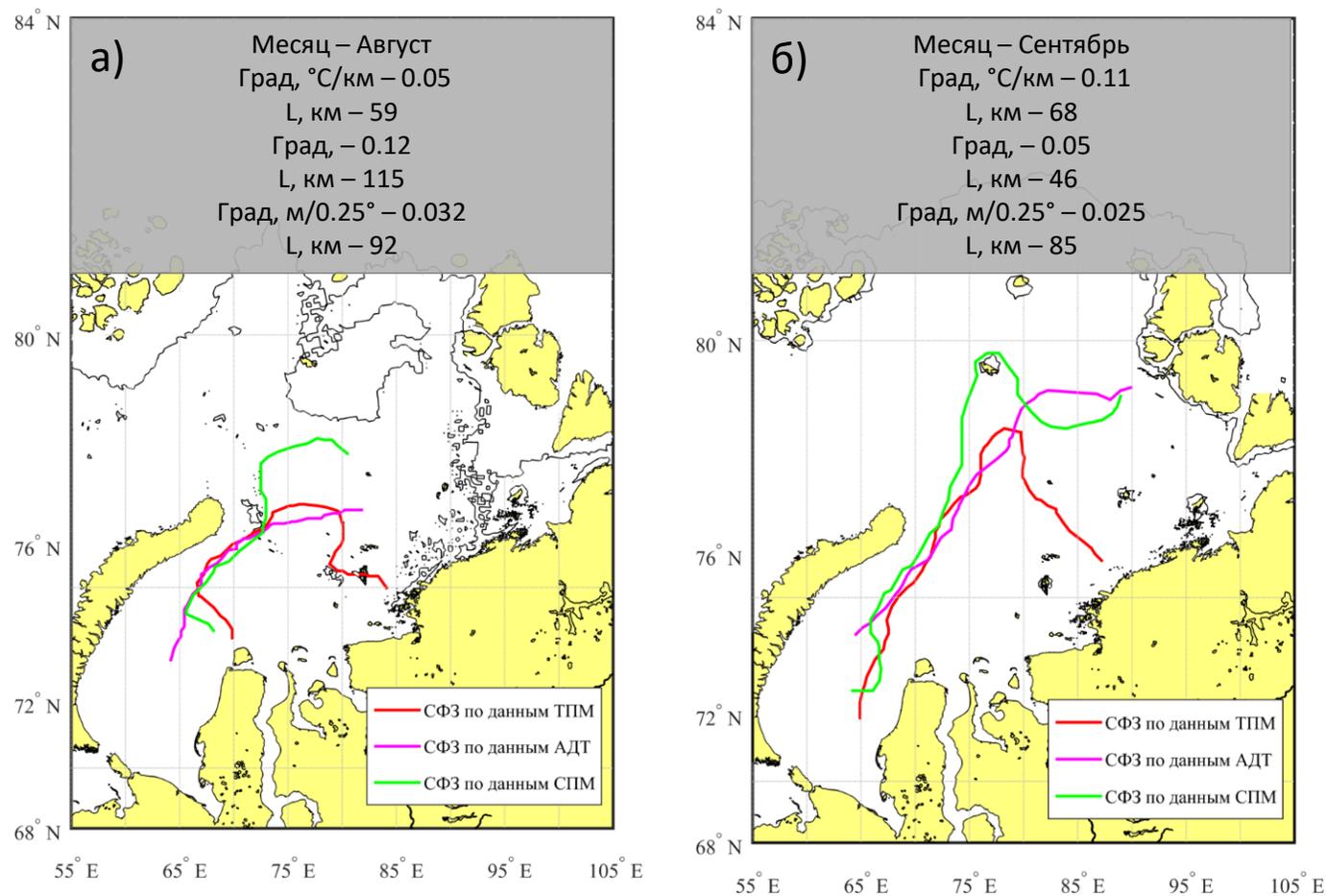


Рис. 6. Среднемесячная изменчивость Стоковой фронтальной зоны по разнородным данным: а – август 2019 года; б – сентябрь 2019 года; Белым цветом показано среднемесячное положение ледового покрова.

Выводы

- В результате работы получены внутримесячные средние оценки характеристик Стоковой фронтальной зоны по данным ТПМ, солёности, и уровню моря, уточнено ее сезонное положение в сравнении с прошлыми работами (Konik et al., 2020).
- По данным температуры поверхности моря средний максимальный градиент в августе составил $0,05^{\circ}\text{C}/\text{км}$ при ширине 59 км, а в сентябре – $0,1^{\circ}\text{C}/\text{км}$ при ширине 68 км. Колебания градиентов солёности в августе составили $0,12\text{‰}/\text{км}$ при ширине 115 км, а в сентябре – $0,05\text{‰}/\text{км}$ при ширине 46 км. Средний максимальный градиент по данным уровня в августе составил $0,032 \text{ м}/0.25^{\circ}$ при ширине 92 км, а в сентябре – $0,025 \text{ м}/0.25^{\circ}$ при ширине 85 км.
- Сравнение полученных результатов с данными речного стока Оби и Енисея показывает ярко-выраженную Стоковую фронтальную зону в поле солёности и уровня моря.
- Положения фронтальной зоны по данным ТПМ, солёности и уровня моря в августе и сентябре совпадают в районе $67\text{--}73^{\circ}$ с.ш., что говорит о возможности использования различных данных дистанционного спутникового зондирования в исследованиях фронтов Карского моря.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № 0149-2019-0015.

Спасибо за внимание!!!



Список литературы

1. *Андреев А.Г.* Распределение распресненных вод Амурского лимана в Охотском море по данным спутниковых наблюдений // Исследования Земли из космоса. 2019. № 2. С. 89-96.
2. *Гольдин Ю.А., Глуховец Д.И., Гончаренко И.В., Шатравин А.В.* Распределение характеристик поверхностного слоя вод Карского моря в 2013 и 2014 годах по судовым и спутниковым наблюдениям // Материалы научной конференции «Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований». Москва, 27-29 мая 2015 года. М.: АПР, 2015. С. 29-34.
3. *Завьялов П.О., Ижницкий А.С., Осадчиев А.А., Пелевин В.В., Грабовский А.Б.* Структура термохалинных и биооптических полей на поверхности Карского моря осенью 2011 года // Материалы научной конференции «Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований». Москва, 27-29 мая 2015 года. М.: АПР, 2015. С. 15-18.
4. *Коник А.А. Зимин А.В., Атаджанова О.А.* Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности мор в районе фронтальных зон Карского моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12. № 1. С. 54-61.
5. *Кузин В. И., Лаптева Н.А.* Математическое моделирование стока основных рек Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 6. С. 525-529.
6. *Магрицкий Д.В., Чалов С.Р., Агафонова С.А., Кузнецов М.А., Банщикова Л.С.* Гидрологический режим нижней Оби в современных гидроклиматических условиях и под влиянием крупномасштабной водохозяйственной деятельности // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. № 1. С. 106-119.
7. *Мошаров С.А.* Распределение первичной продукции и хлорофилла «а» в Карском море в сентябре 2007 г // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 933-941.
8. *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.
9. *Полухин А.А.* Формирование гидрохимической структуры вод Карского моря под влиянием континентального стока. Дис. ... канд. Географических наук: 25.00.28. М. 2017. 149 с.

Список литературы

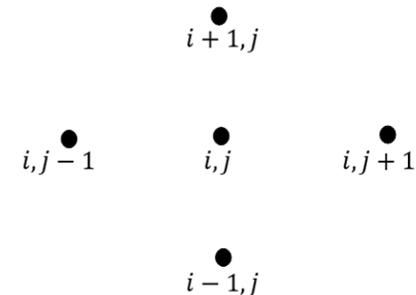
10. *Arbic B.K., Scott R.B., Chelton D.B. et al.* Effects on stencil width on surface ocean geostrophic velocity and vorticity estimation from gridded satellite altimeter data // *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117.
11. *Konik A.A., Zimin A.V., Pedchenko A.P.* Assessment of the variability of the frontal zones of the Kara sea in a changing climate // Abstracts of International Scientific Conference “Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic”. Saint Petersburg, March 2–4, 2020. SPb: SSC RF AARI, 2020. 408 p.
12. *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.
13. *Meissner T., Wentz F.J., and Le Vine D.M.* [The Salinity Retrieval Algorithms for the NASA Aquarius Version 5 and SMAP Version 3 Releases](#) // *Remote Sensing.* 2018. No. 10, P.1121.
14. *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.

φ и λ – 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:

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