

Характеристики вихрей в амеразийском секторе Арктики по данным спутниковых радиолокационных наблюдений

Артамонова А.В. (1), Козлов И.Е. (2)

(1) Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия

(2) Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

Актуальность работы

В амеразийском секторе Северного Ледовитого океана (СЛО) существует несколько систем интенсивных течений (круговорот Бофорта, заток тихоокеанских вод через Берингов пролив, Аляскинское прибрежное течение и т.д.), многие из которых являются районами регулярной генерации вихрей, оказывающих влияние на перенос водных масс и различных примесей на большие расстояния от мест их образования.

Тем не менее на данный момент исследование критических характеристик этих вихрей представлено сравнительно небольшим количеством ограниченных по времени и пространству прямых наблюдений (D'Asaro, 1988; Timmermans et al., 2008; Zhao et al., 2014, 2016; Fine et al. 2018).

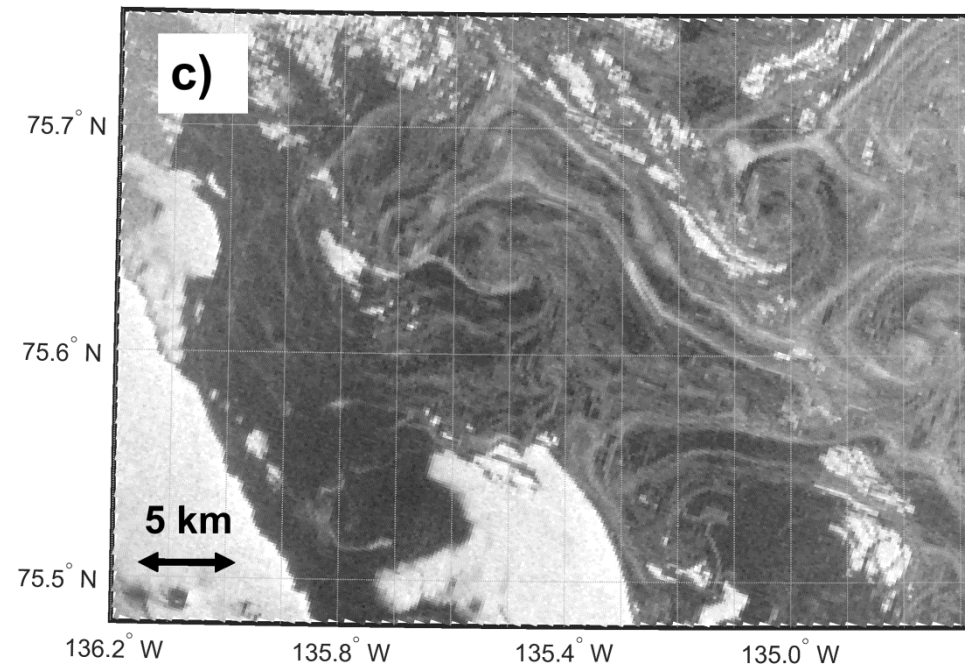
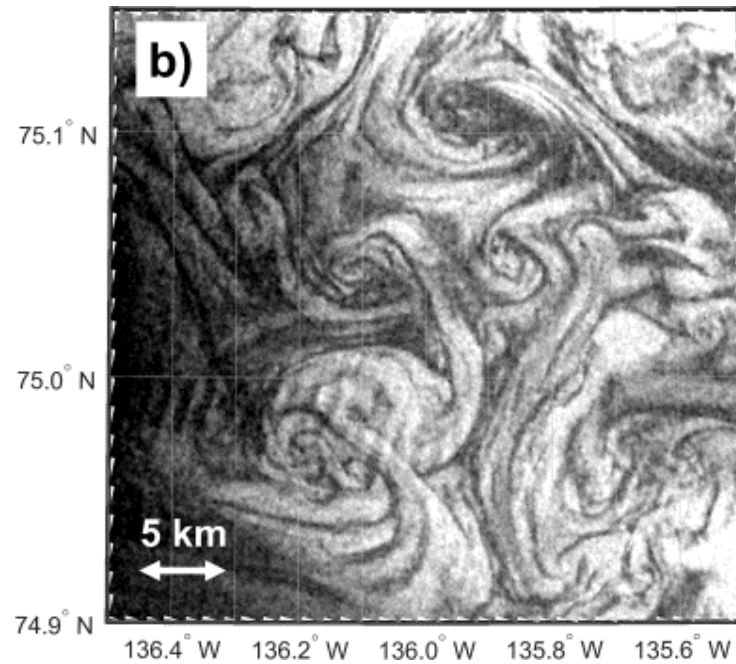
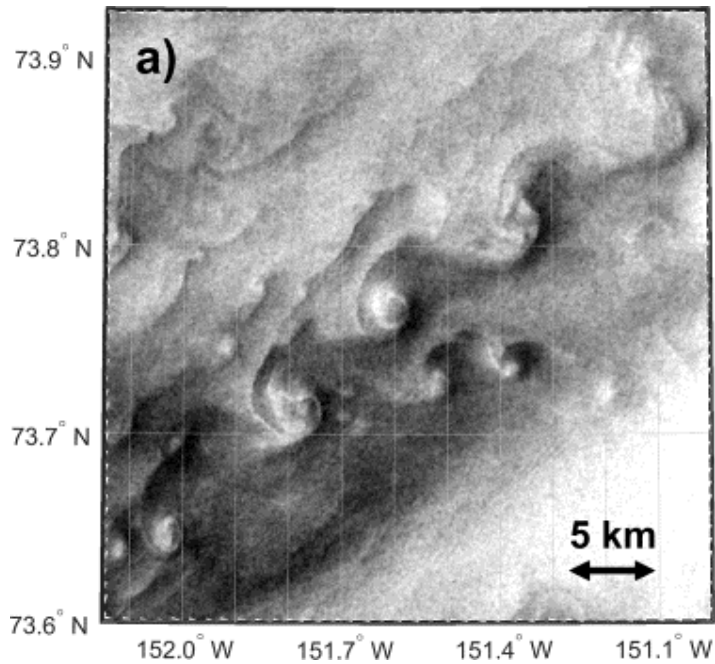
Целью данной работы является восполнение пробела в области исследования вихревой динамики в амеразийском секторе Арктики на основе использования спутниковых радиолокационных измерений высокого пространственного разрешения.

Примеры проявлений вихревых структур на изображениях РСА:

a) взаимодействие волн и течений

b) поверхностные плёнки

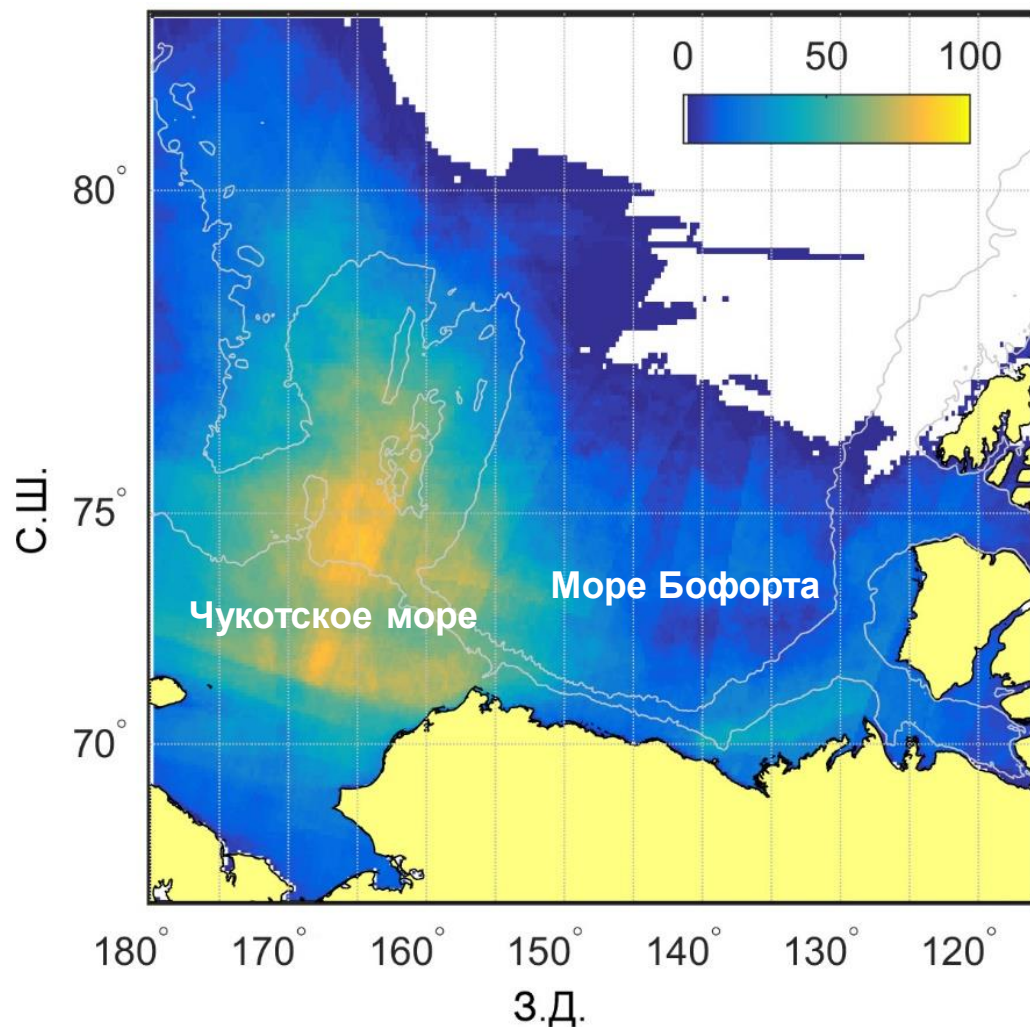
c) ледовые трассеры в прикромочной зоне льда (ПЗЛ)



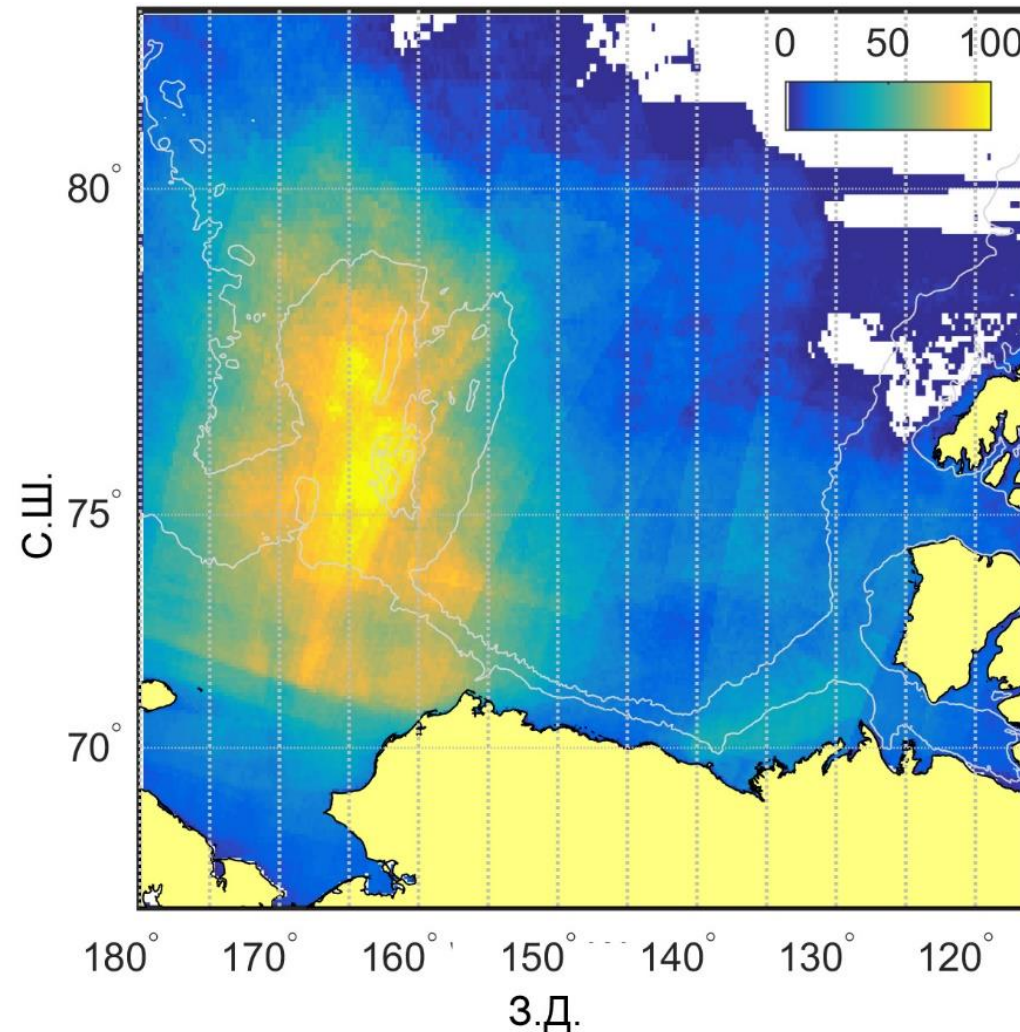
Информация о количестве РСА изображений, использованных в анализе

| Год | Сенсор | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Всего |
|-------|----------|------|------|--------|----------|---------|-------|
| 2007 | ASAR | 11 | 23 | 57 | 38 | 18 | 147 |
| 2011 | ASAR | 83 | 59 | 32 | 34 | 17 | 225 |
| 2016 | S-1 А, В | 30 | 58 | 52 | 27 | 17 | 184 |
| 2016 | Palsar-2 | - | - | 8 | 17 | 11 | 36 |
| Всего | | | | | | | 592 |

Покрытие района исследования данными РСА в течение трех летних сезонов 2007, 2011 и 2016 года

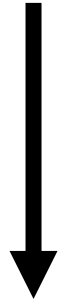


Для участков открытой воды



Для прикромочной зоны льда

ASAR



Sentinel-1
PALSAR-2

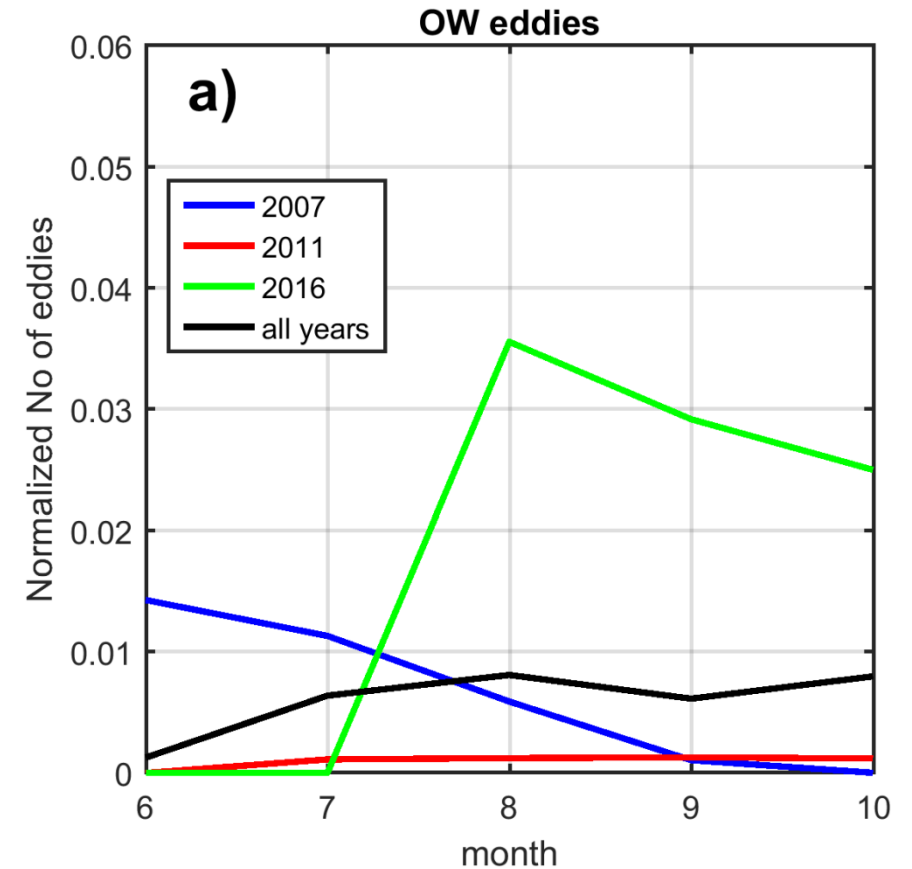


Количество идентифицированных вихрей открытой воды в июне-октябре 2007, 2011 и 2016 гг

Summary of Open-Water Eddy Detection in Spaceborne SAR Data in the Western Arctic Ocean in June–October 2007, 2011, and 2016

| Year | 2007 | | 2011 | | 2016 | | All years | |
|--------------|----------------|-----------------|------------|-----------|-------------|------------|-------------|-------------|
| Month | C ¹ | AC ² | C | AC | C | AC | C | AC |
| June | 13 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 5 |
| July | 222 | 170 | 23 | 7 | 0 | 0 | 245 | 177 |
| August | 489 | 231 | 33 | 7 | 476 | 160 | 998 | 398 |
| Sept | 85 | 31 | 71 | 21 | 824 | 321 | 980 | 373 |
| October | 0 | 1 | 15 | 5 | 520 | 348 | 535 | 354 |
| Total | 809 | 438 | 142 | 40 | 1820 | 829 | 2771 | 1307 |
| | 1247 | | 182 | | 2649 | | 4078 | |

C¹ denotes cyclonic eddies, while AC² anticyclonic ones.

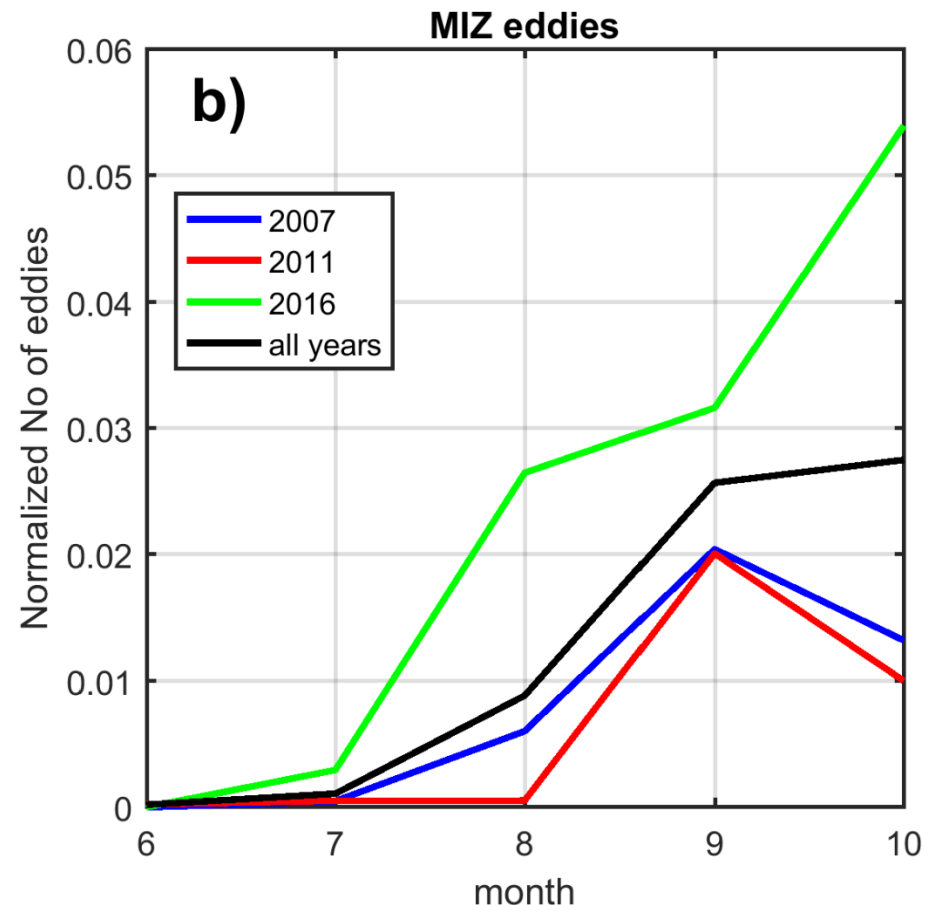


**Межгодовая изменчивость нормированного
числа вихрей открытой воды**

Количество идентифицированных вихрей ПЗЛ в июне-октябре 2007, 2011 и 2016 гг

Summary of MIZ Eddy Detection in Spaceborne SAR Data in the Western Arctic Ocean in June–October 2007, 2011, and 2016

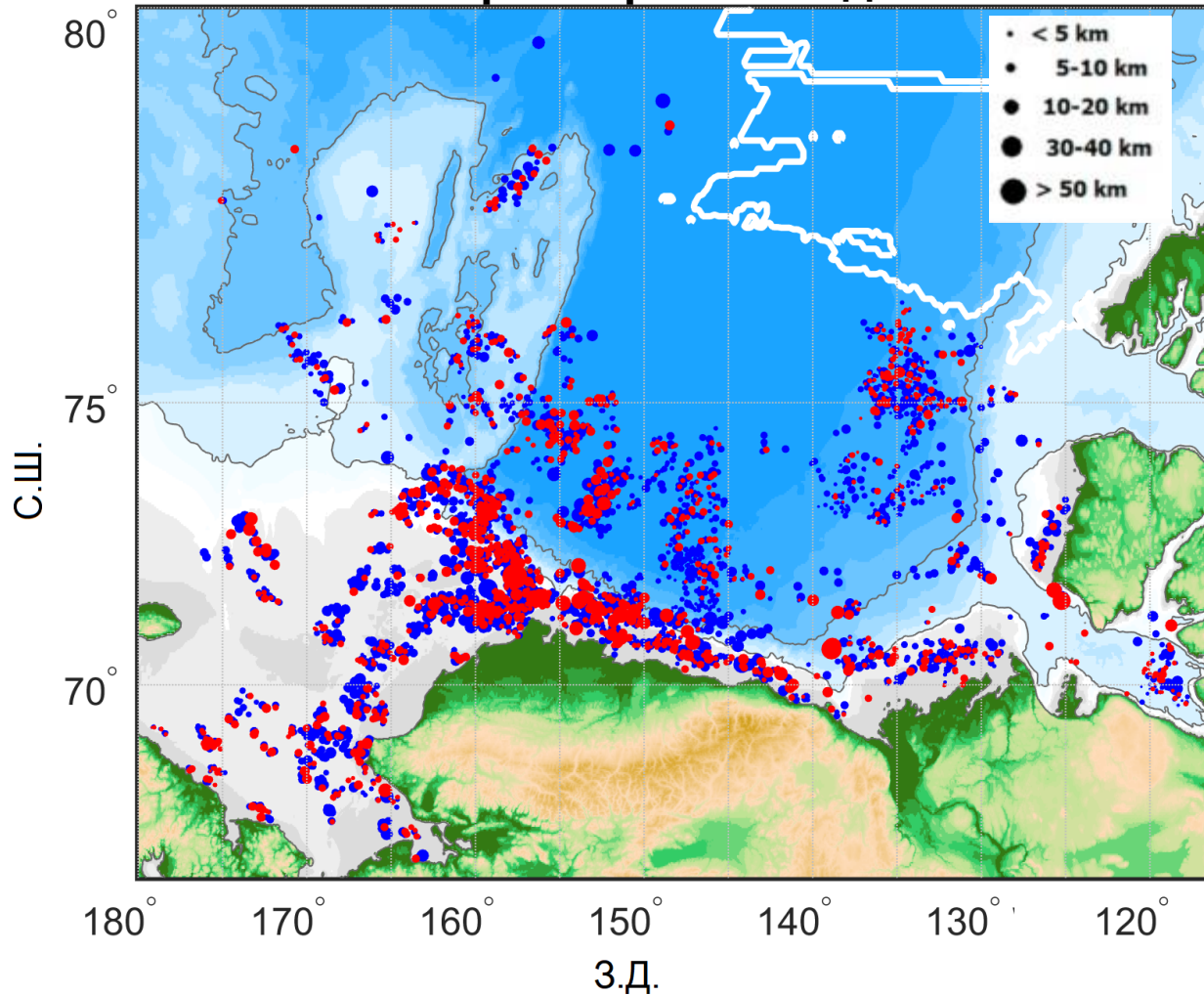
| Year | 2007 | | 2011 | | 2016 | | All years | |
|---------|------|-----|------|-----|------|-----|-------------|-------------|
| Month | C | AC | C | AC | C | AC | C | AC |
| June | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| July | 9 | 4 | 10 | 9 | 36 | 21 | 55 | 34 |
| August | 159 | 173 | 11 | 11 | 497 | 254 | 667 | 438 |
| Sept | 121 | 67 | 295 | 170 | 603 | 344 | 1019 | 581 |
| October | 127 | 37 | 53 | 23 | 381 | 252 | 561 | 312 |
| Total | 416 | 281 | 371 | 215 | 1517 | 871 | 2304 | 1367 |
| | 697 | | 586 | | 2388 | | 3671 | |



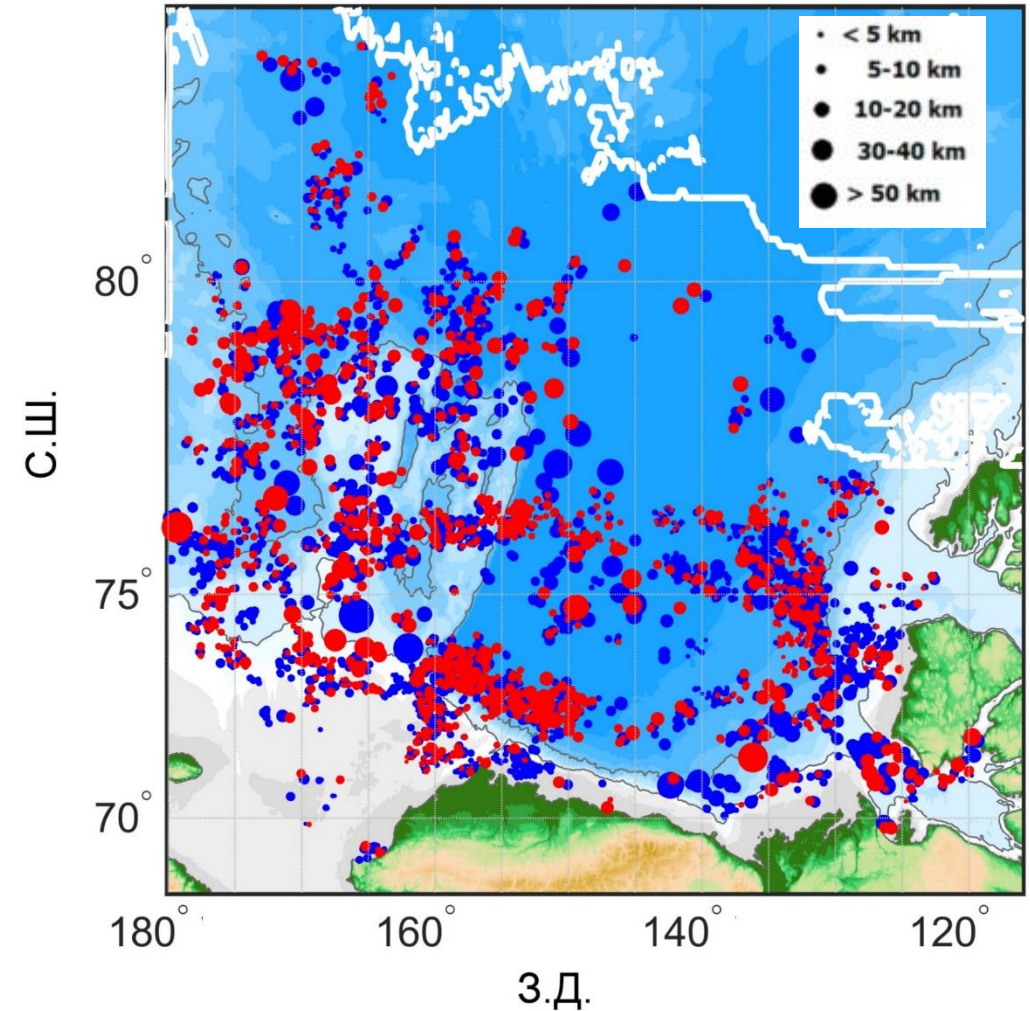
**Межгодовая изменчивость нормированного
числа вихрей прикромочной зоны льда**

Местоположение идентифицированных вихревых структур

Вихри открытой воды



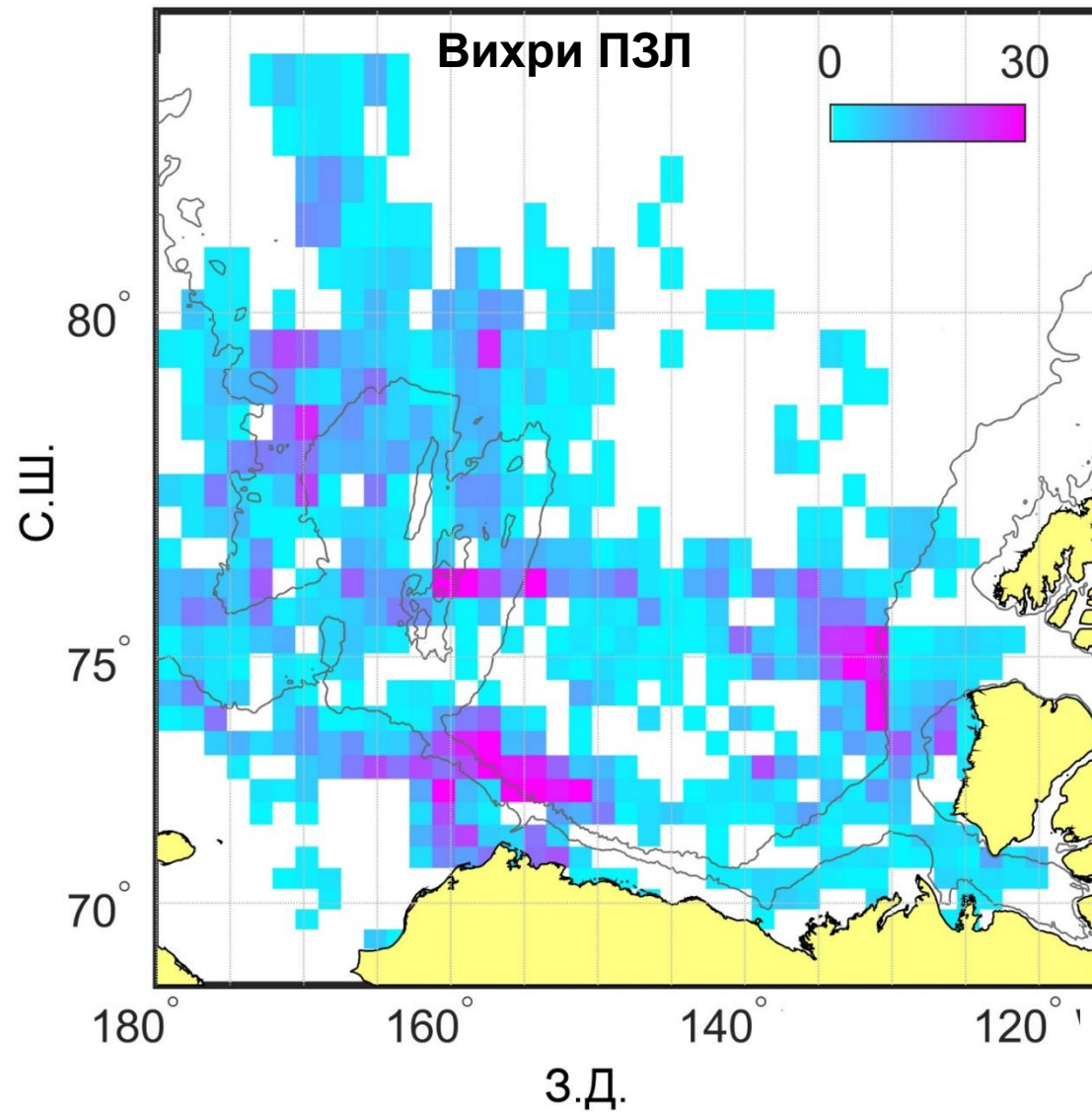
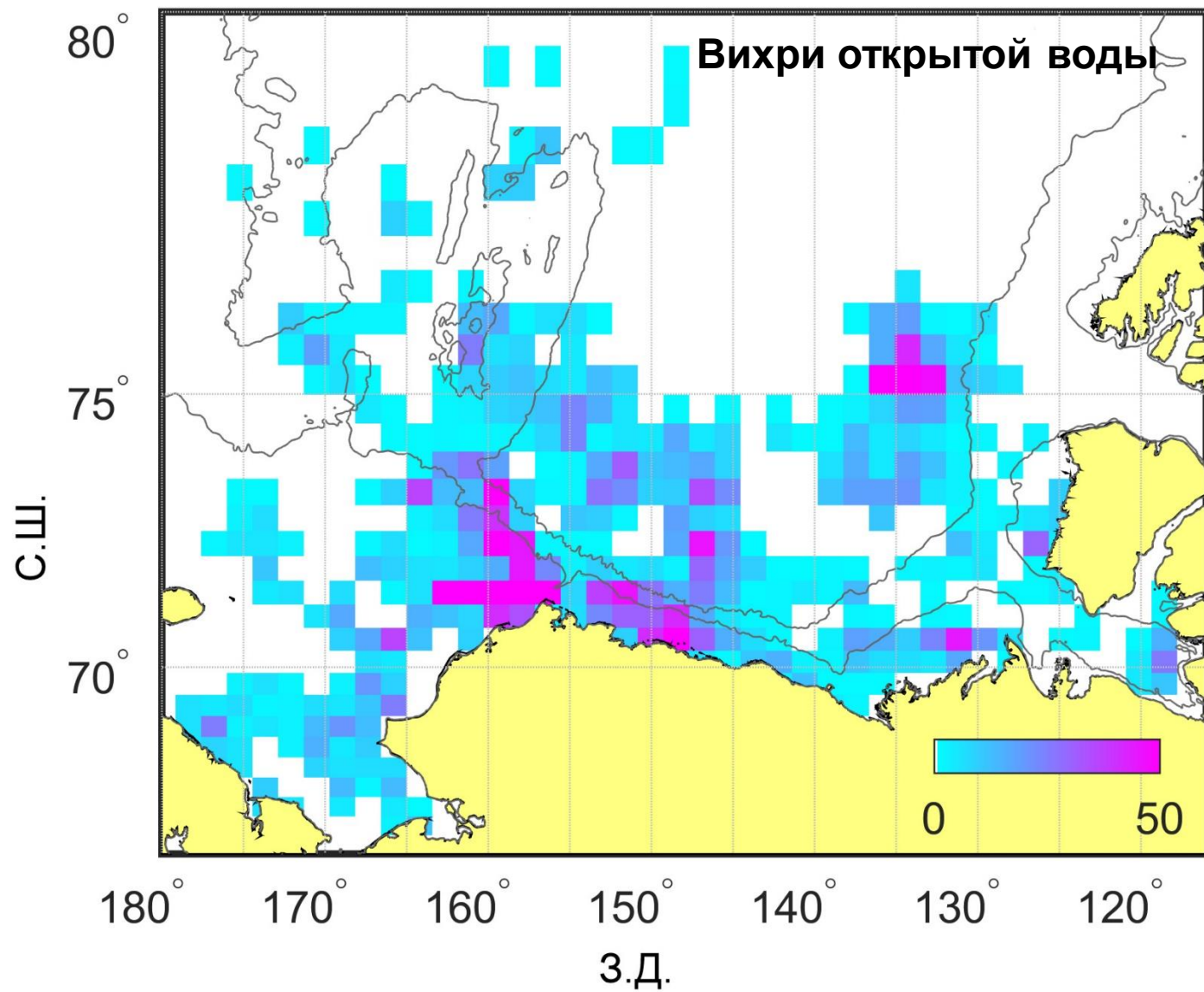
Вихри ПЗЛ



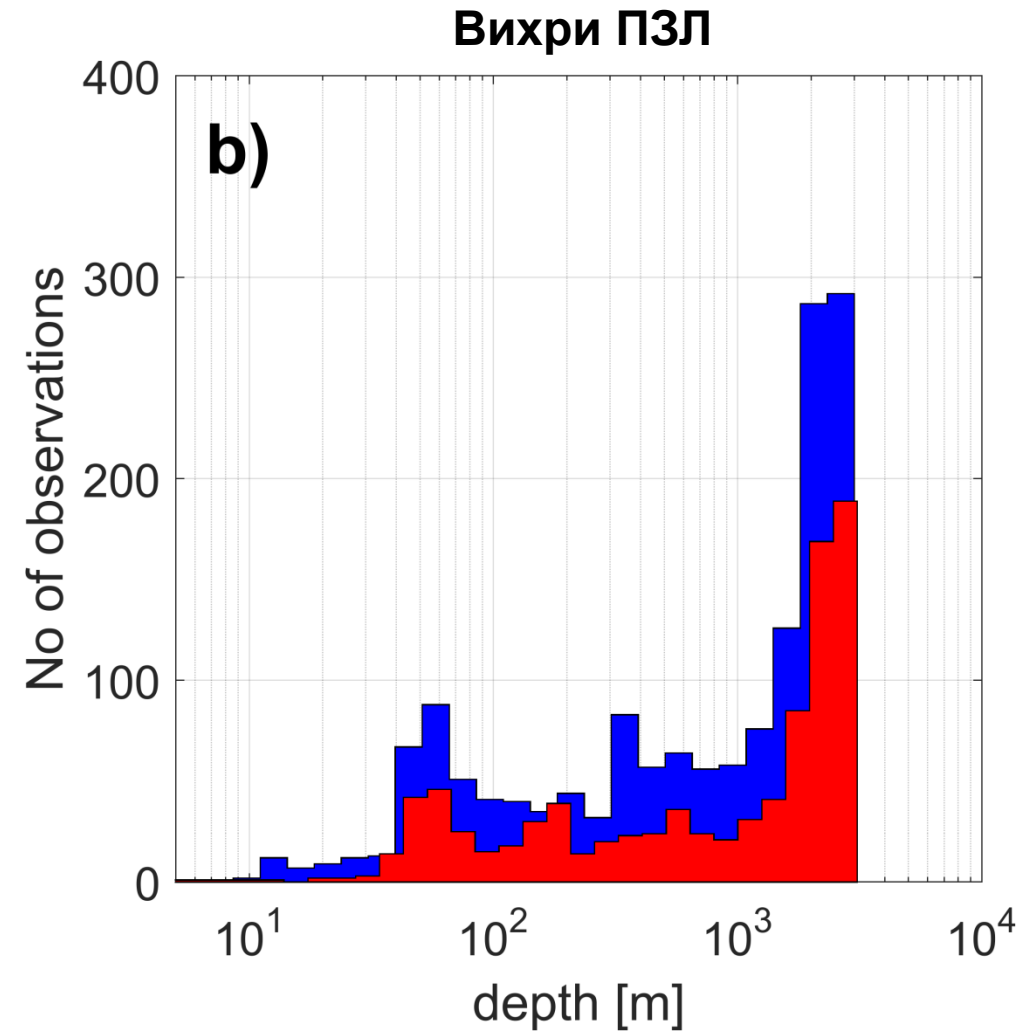
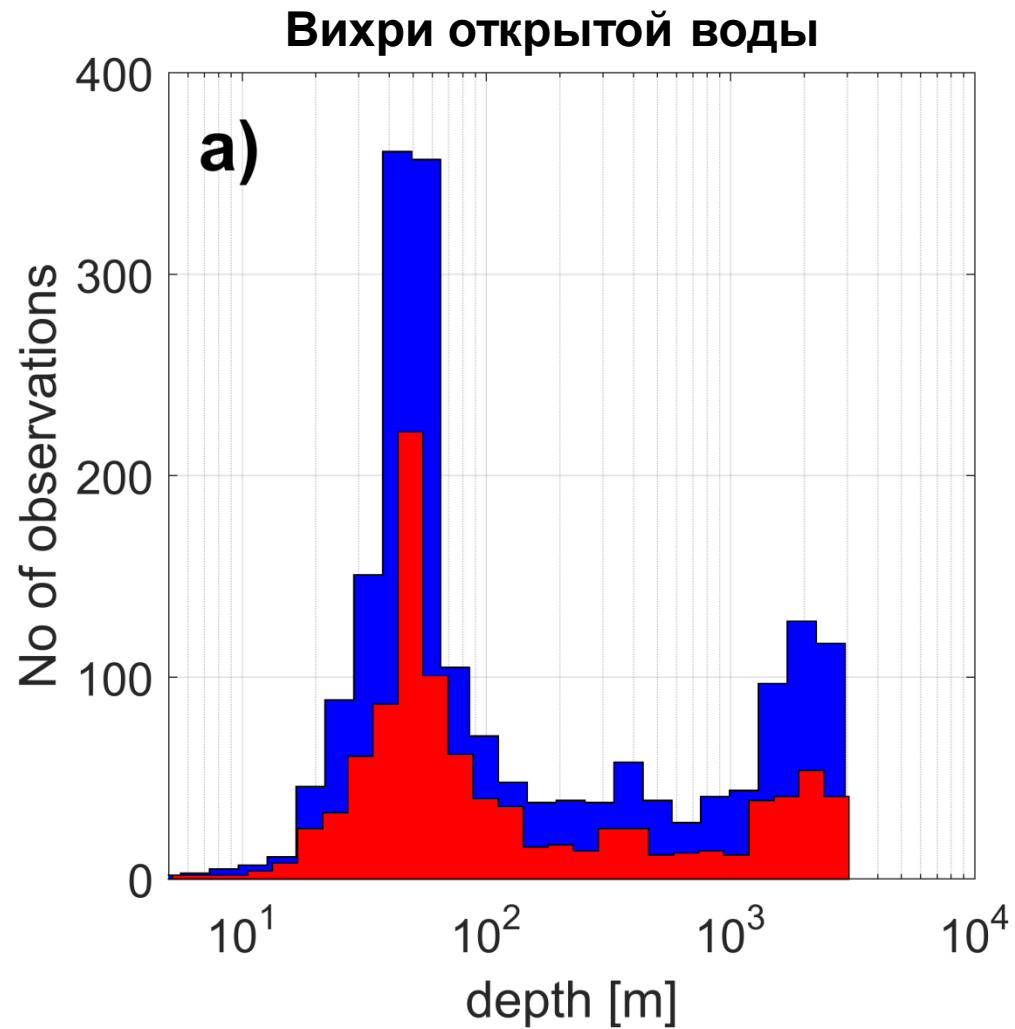
Синие (**красные**) маркеры обозначают циклонические (антициклонические) вихри.

Размеры маркеров пропорциональны диаметрам вихрей. Белая линия показывает границу области, к северу от которой отсутствуют свободные ото льда данные.

Общее количество вихрей на сетке с величиной квадрата 50 x 50 км



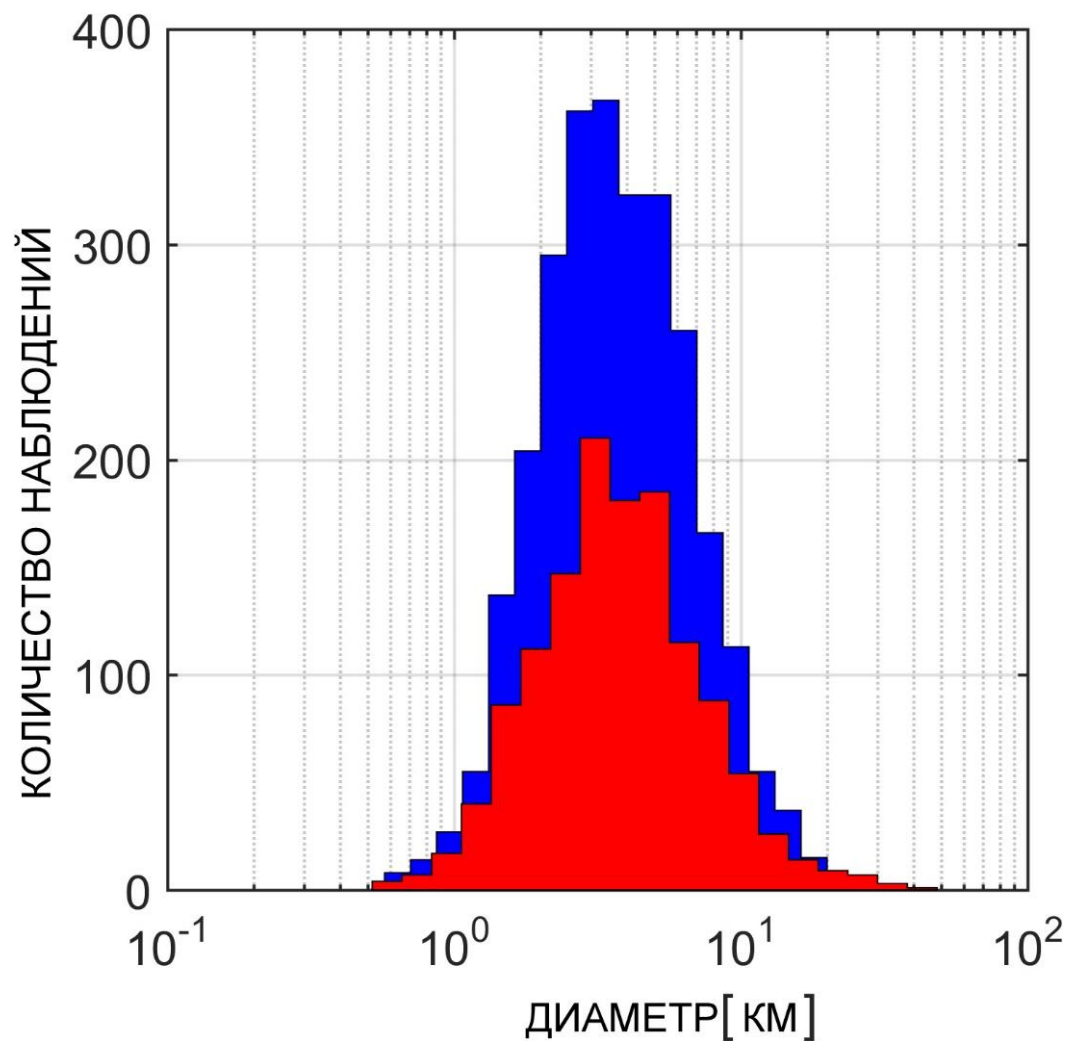
Гистограммы распределения глубин, над которыми наблюдались вихри



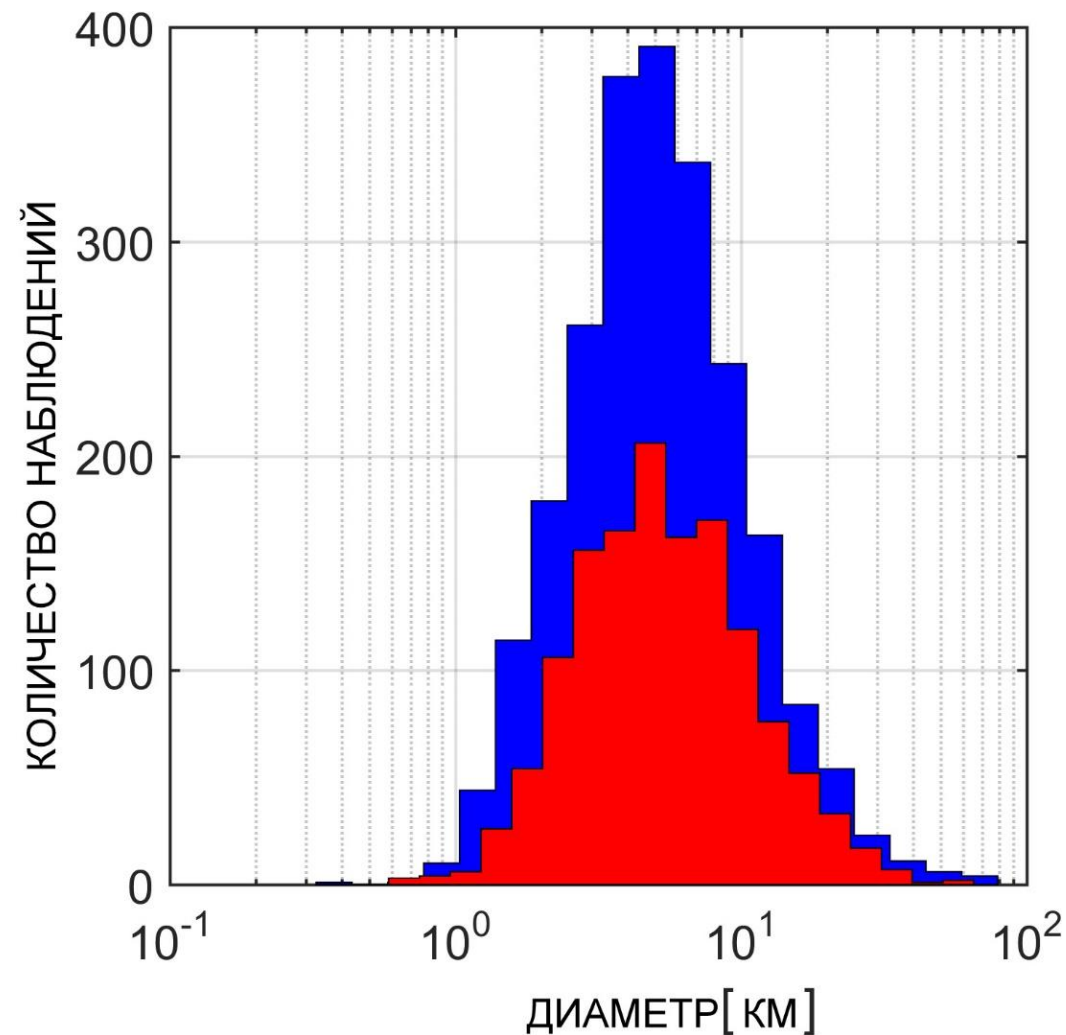
Синий (**красный**) цвет обозначает циклонические (антициклонические) вихри.

Гистограммы распределения диаметров

Вихри открытой воды

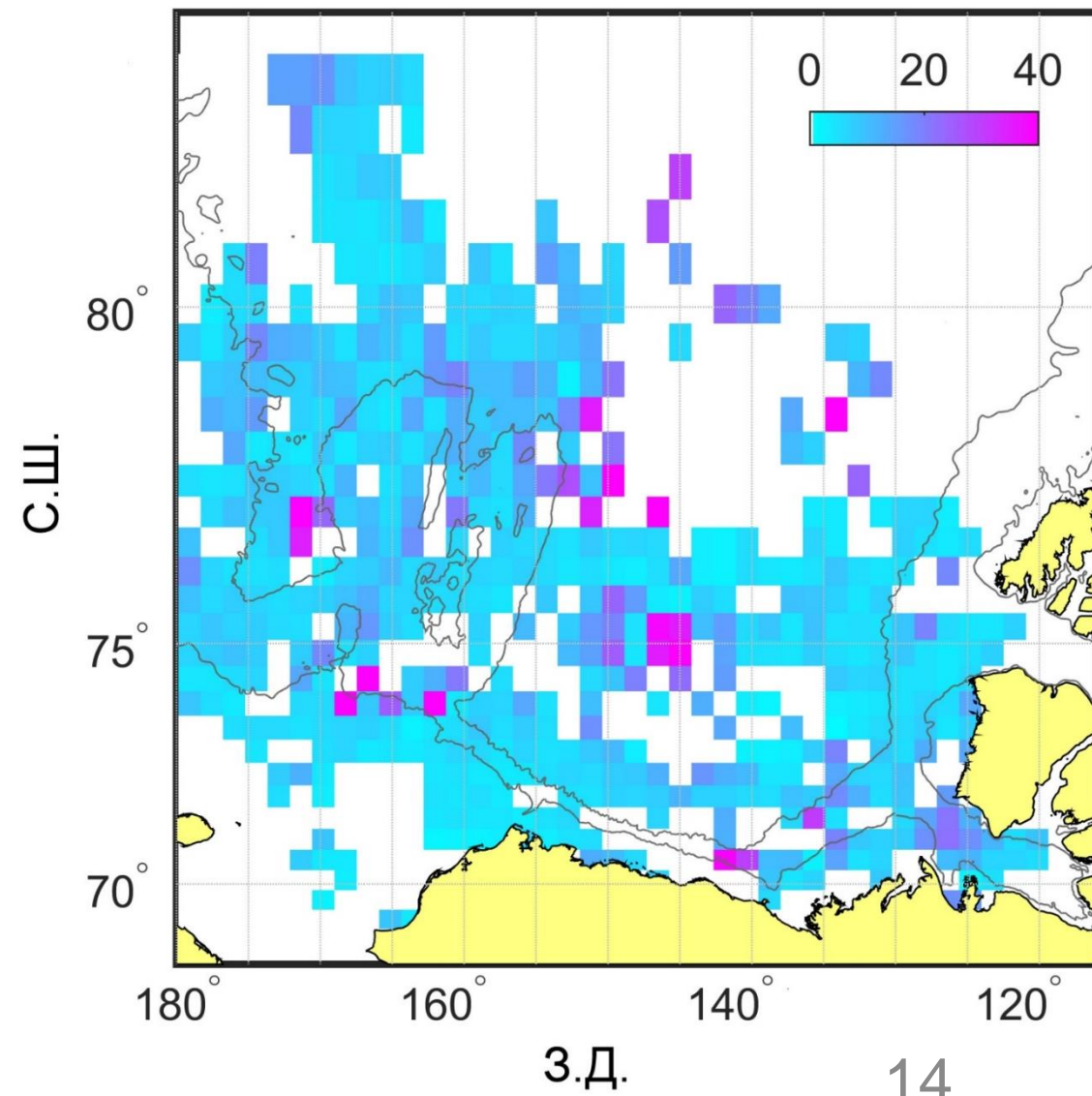
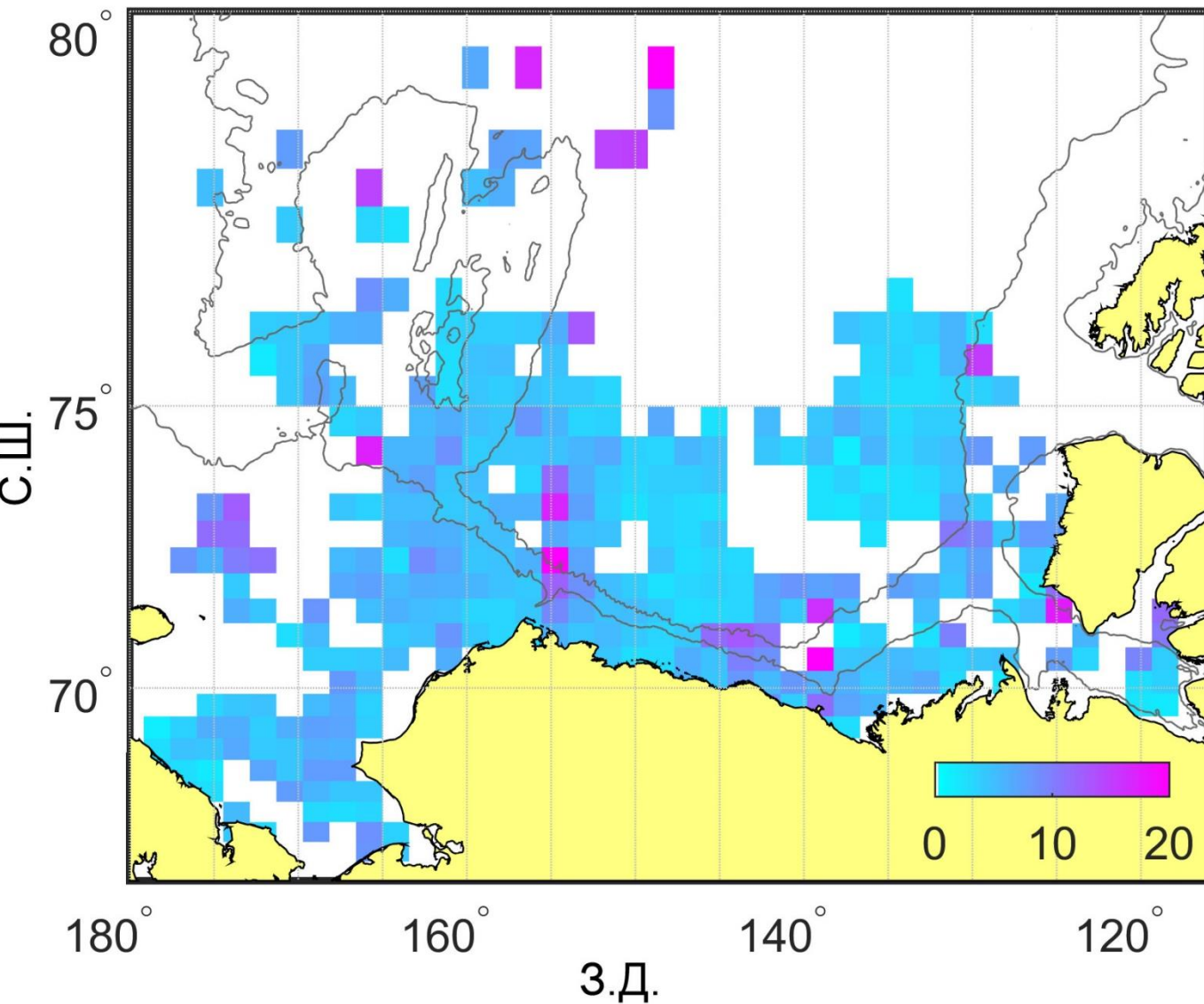


Вихри ПЗЛ

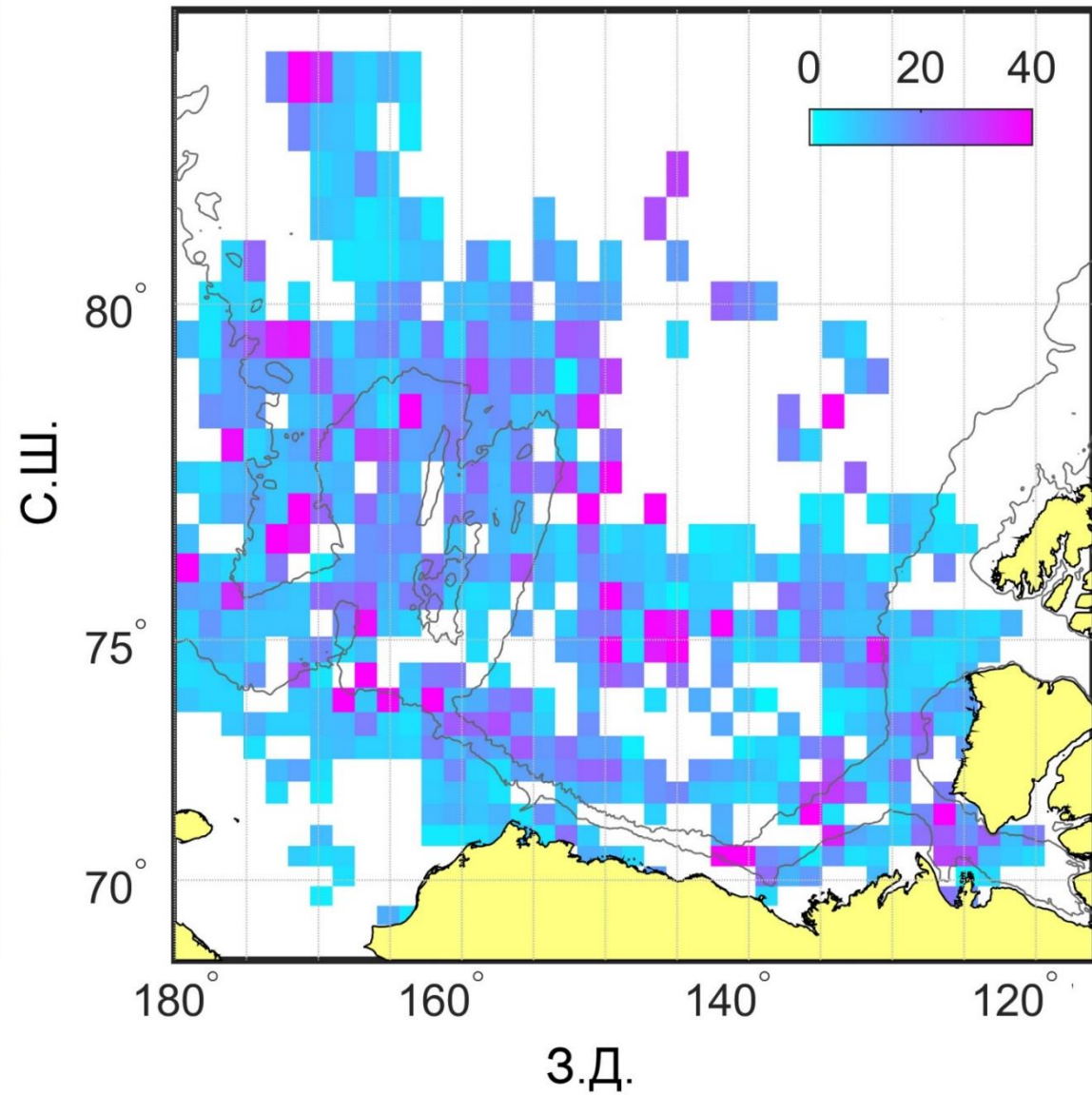
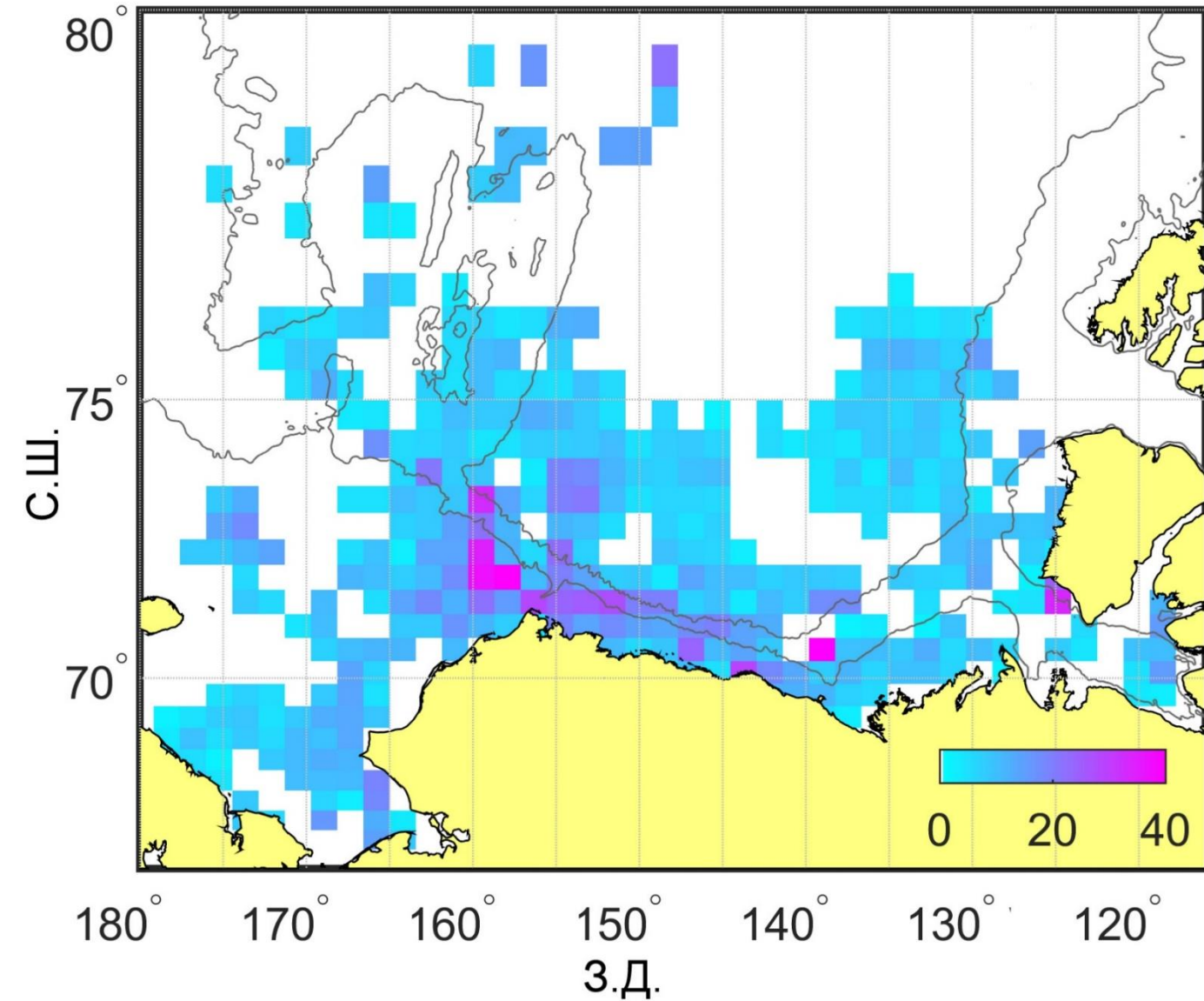


Синий (красный) цвет обозначает циклонические (антициклонические) вихри.

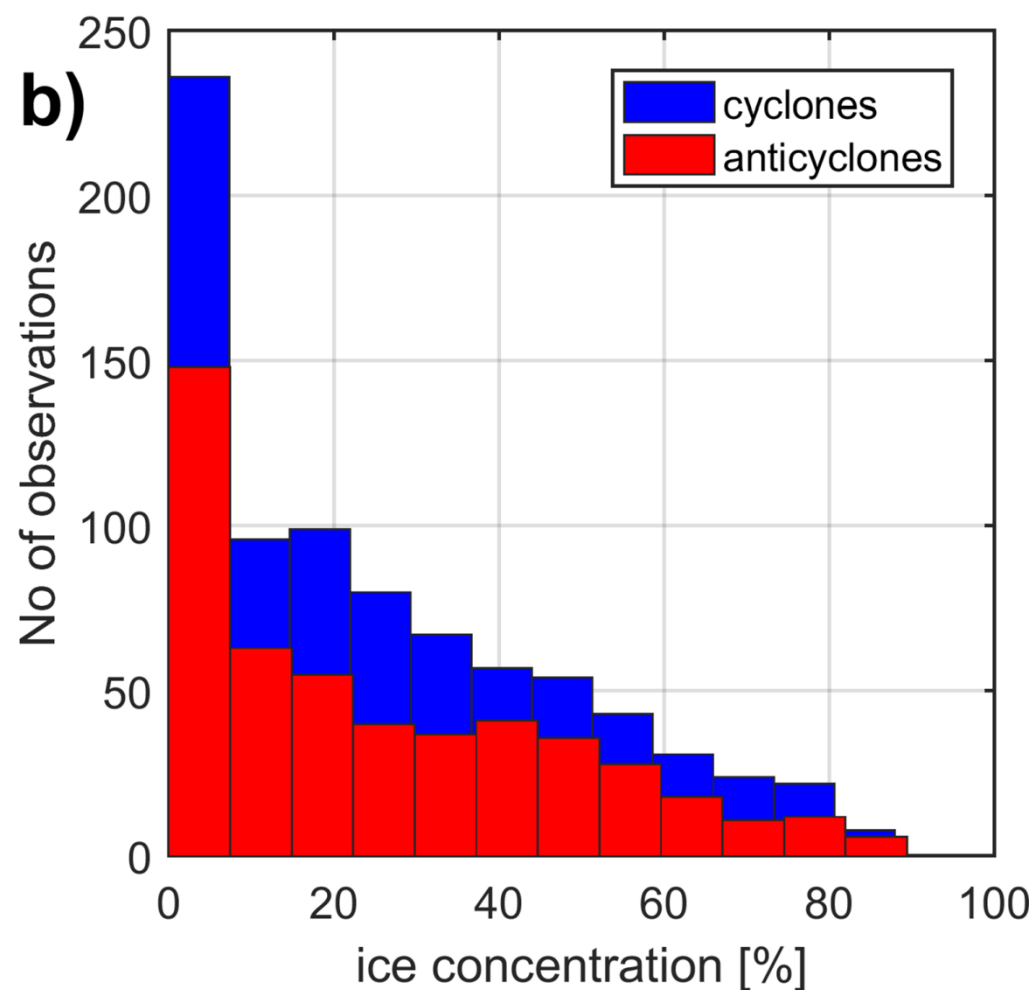
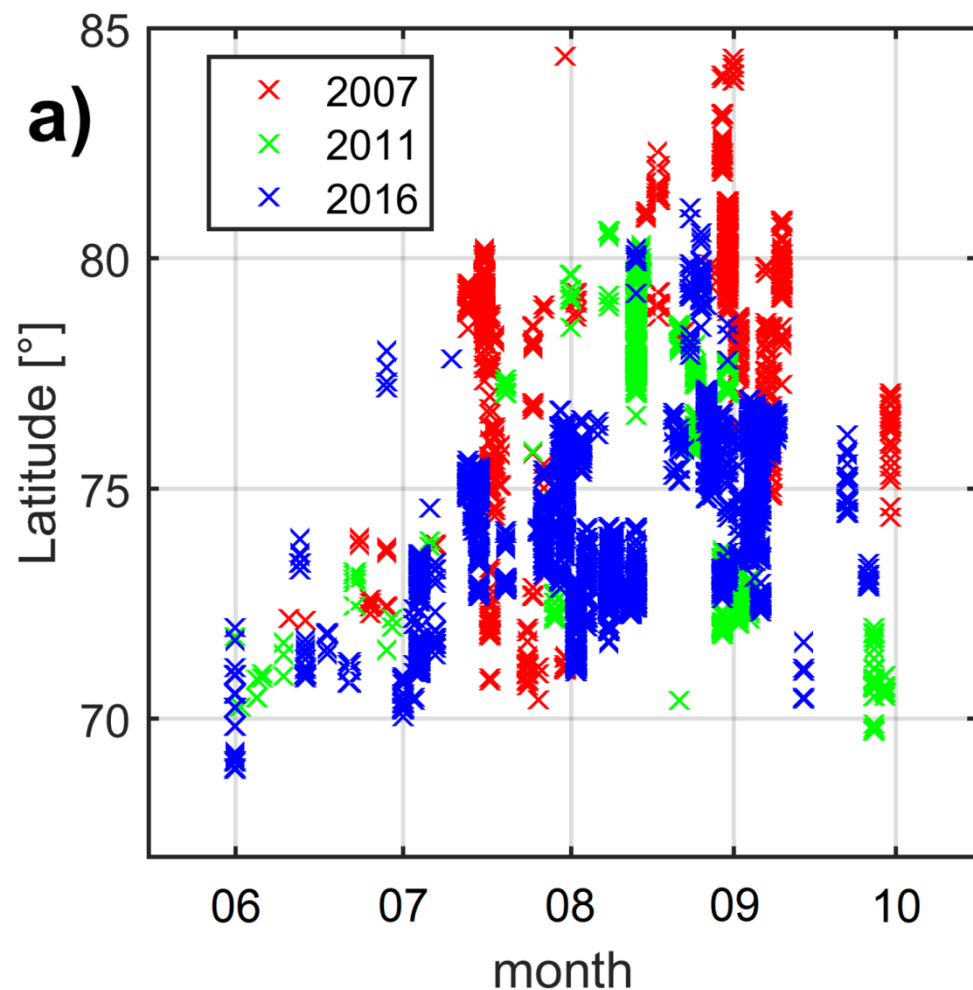
Пространственное распределение среднего диаметра для вихрей, идентифицированных в открытой воде и в ПЗЛ на квадрат сетки 50 x 50 км



Пространственное распределение максимального диаметра для вихрей, идентифицированных в открытой воде и в ПЗЛ на квадрат сетки 50 x 50 км



Сезонные изменения в широтном положении вихрей ПЗЛ с июля по ноябрь (а) и число вихрей в зависимости от концентрации льда



Красным, зеленым и синим на отмечены местоположения вихрей, идентифицированных в 2007, 2011 и 2016 годах соответственно

Заключение

Впервые на основе анализа большого массива данных РСА получены детальные характеристики океанских вихрей для амеразийского сектора СЛО.

Анализ 592 РЛИ позволил выделить более 4000 проявлений вихрей в открытой воде и более 3500 проявлений вихрей ПЗЛ. Показано, что около 64% от общего числа вихрей являются циклоническими.

Чаще всего проявления вихрей наблюдались на шельфе и вблизи континентального склона, однако в большом количестве они также присутствуют и в глубоководных районах Канадского бассейна.

Диаметры зарегистрированных вихрей варьируются от 0,5 до 100 км, но около 80% всех вихрей имели диаметры менее 10 км. Поскольку радиус деформации Россби для района исследований в летнее время составляет 3-15 км, значительная часть наблюдаемых вихрей может относиться к субмезомасштабу.

Впервые для вихрей ПЗЛ приведена зависимость между концентрацией льда в ПЗЛ и количеством зарегистрированных вихревых структур. Максимальное число вихрей было зарегистрировано на границе ПЗЛ и в областях с концентрацией льда до 20%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ
№18-35-20078 мол_а_вед

Результаты данной работы опубликованы:

Kozlov I.E., Artamonova A.V., Manucharyan G.E., Kubryakov A.A.
Eddies in the Western Arctic Ocean from spaceborne SAR observations over open ocean and marginal ice zones. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2019. Vol. 124(9). P. 6601- 6616.

Спасибо за внимание!