

¹ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

² Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия



Зинченко В.А.^{1,2}, Колдунов А.В.¹, Гордеева С.М.^{1, 2, 3}

Анализ мезомасштабных вихрей Лфотенской котловины Норвежского моря

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-17-00027

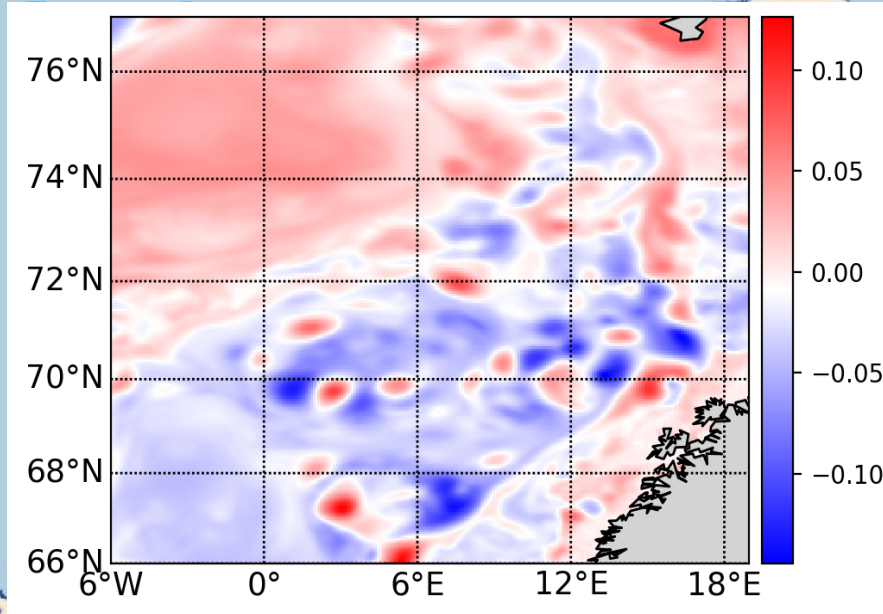
Москва ИКИ РАН
2018

Цель работы

Выявить особенности мезомасштабной вихревой динамики Лофотенской котловины (ЛК) Норвежского моря.

Задачи работы

1. Выделение отдельных мезомасштабных вихревых структур методом автоматической идентификации по данным об аномалиях уровня моря
2. Статистическая характеристика мезомасштабных вихревых структур на акватории Норвежского моря



Исландия

Фарерские о-ва
(Нор.)

Шетлендские о-ва

океан

Шотландия

Северное море

Англия

Ирландия

Норвегия

Балтийское море

Исходные данные

Альтиметрические измерения AVISO (SLA) из базы данных на портале Copernicus с пространственным разрешением $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ в области $66-74^\circ$ с.ш., 9° з.д.- 19° в.д. с дискретностью 1 сутки.

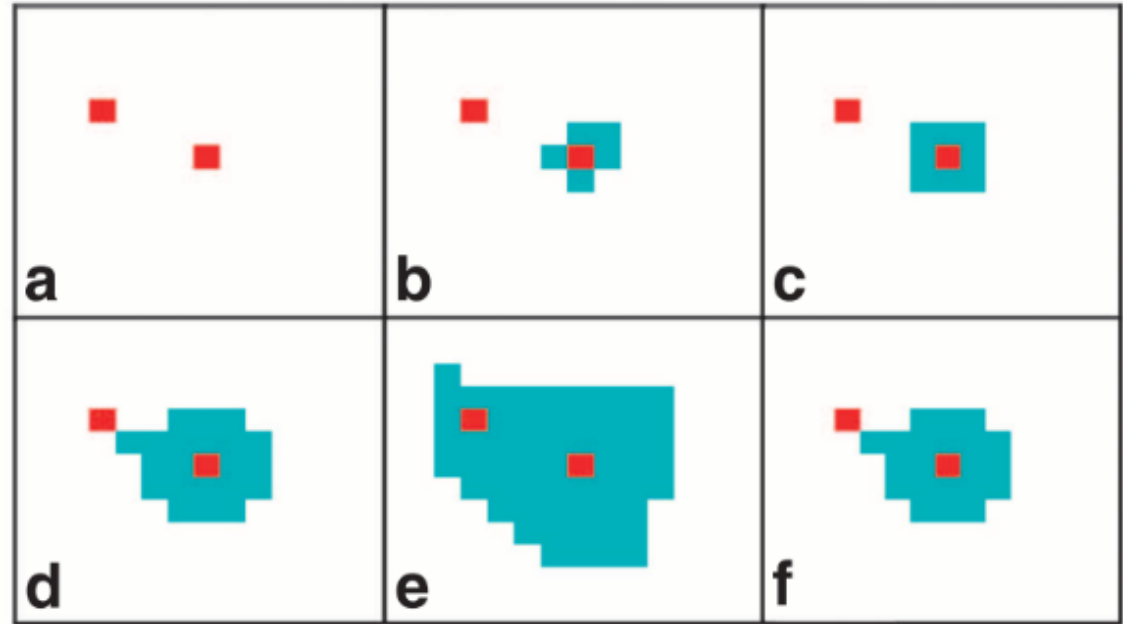
Альтиметрические измерения получены со спутников Topex/Poseidon и Jason (период обращения 10 дней), GFO (17 дней), ERS-1, ERS-2 и Envisat (35 дней), проведена коррекция данных на закон «обратного барометра», приливы и различные эффекты атмосферы, тропосферы и ионосферы.

http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047

Алгоритм идентификации вихрей

G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
G_6	G_7	G_8	G_9	G_{10}
G_{11}	G_{12}	G_0	G_{13}	G_{14}
G_{15}	G_{16}	G_{17}	G_{18}	G_{19}
G_{20}	G_{21}	G_{22}	G_{23}	G_{24}

(1)



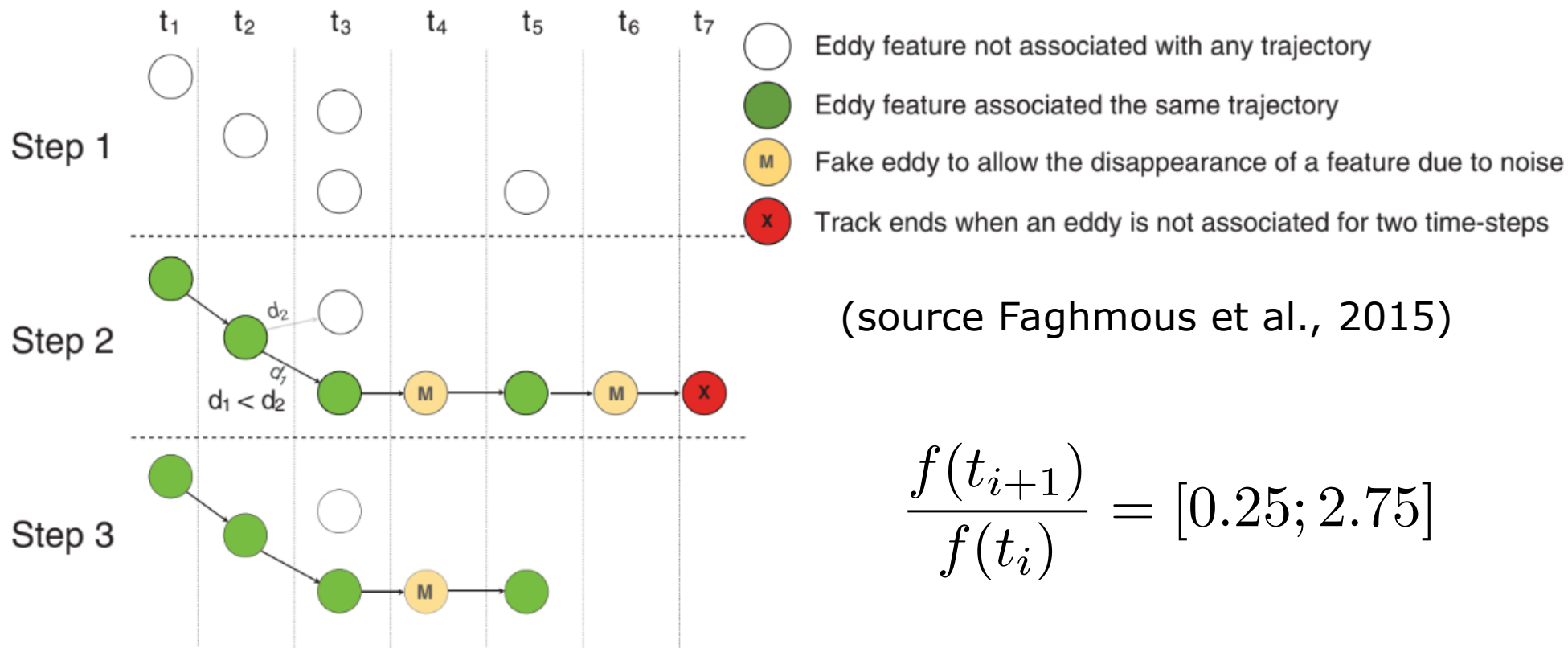
(2)

(source Faghmous et al., 2015)

1 – пример окрестности для нахождения экстремумов

2 – пример построения контура для циклона

Алгоритм связывания в треки

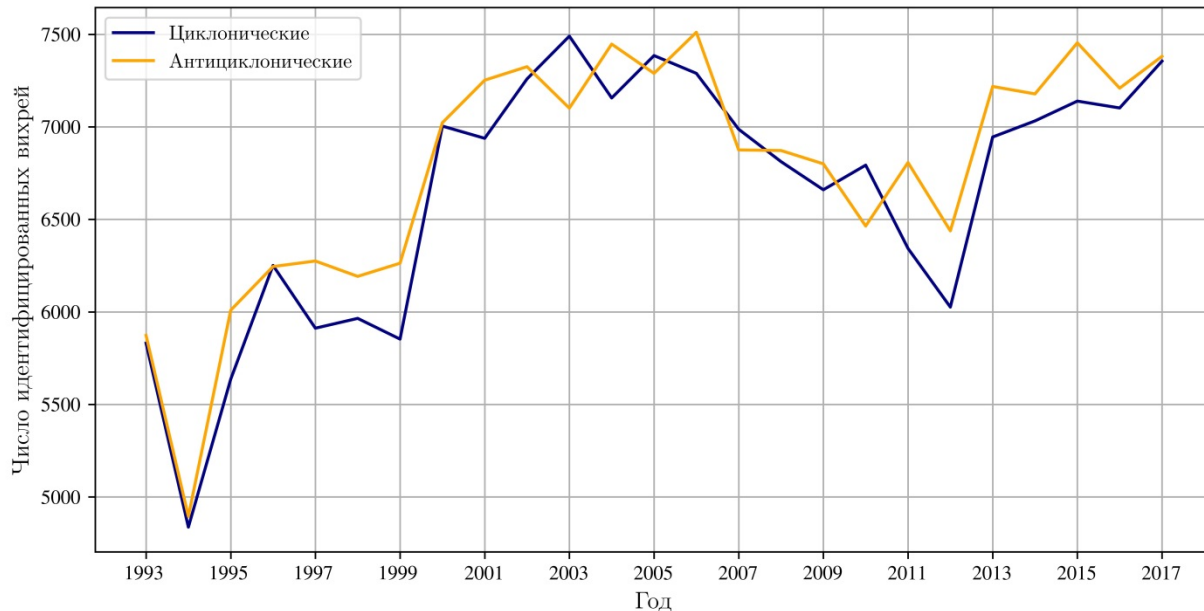


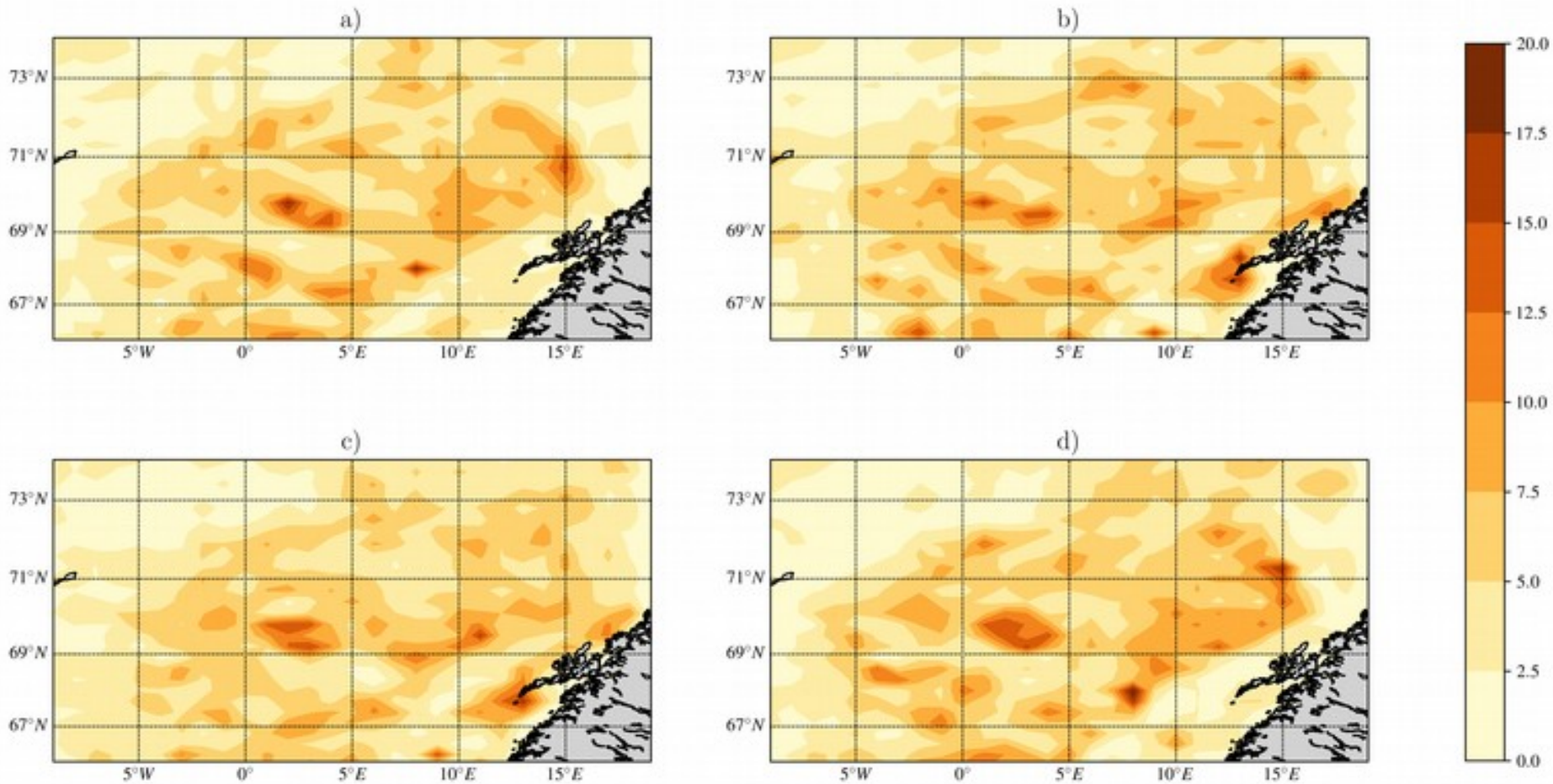
(source Faghmous et al., 2015)

$$\frac{f(t_{i+1})}{f(t_i)} = [0.25; 2.75]$$

Идентификация вихрей

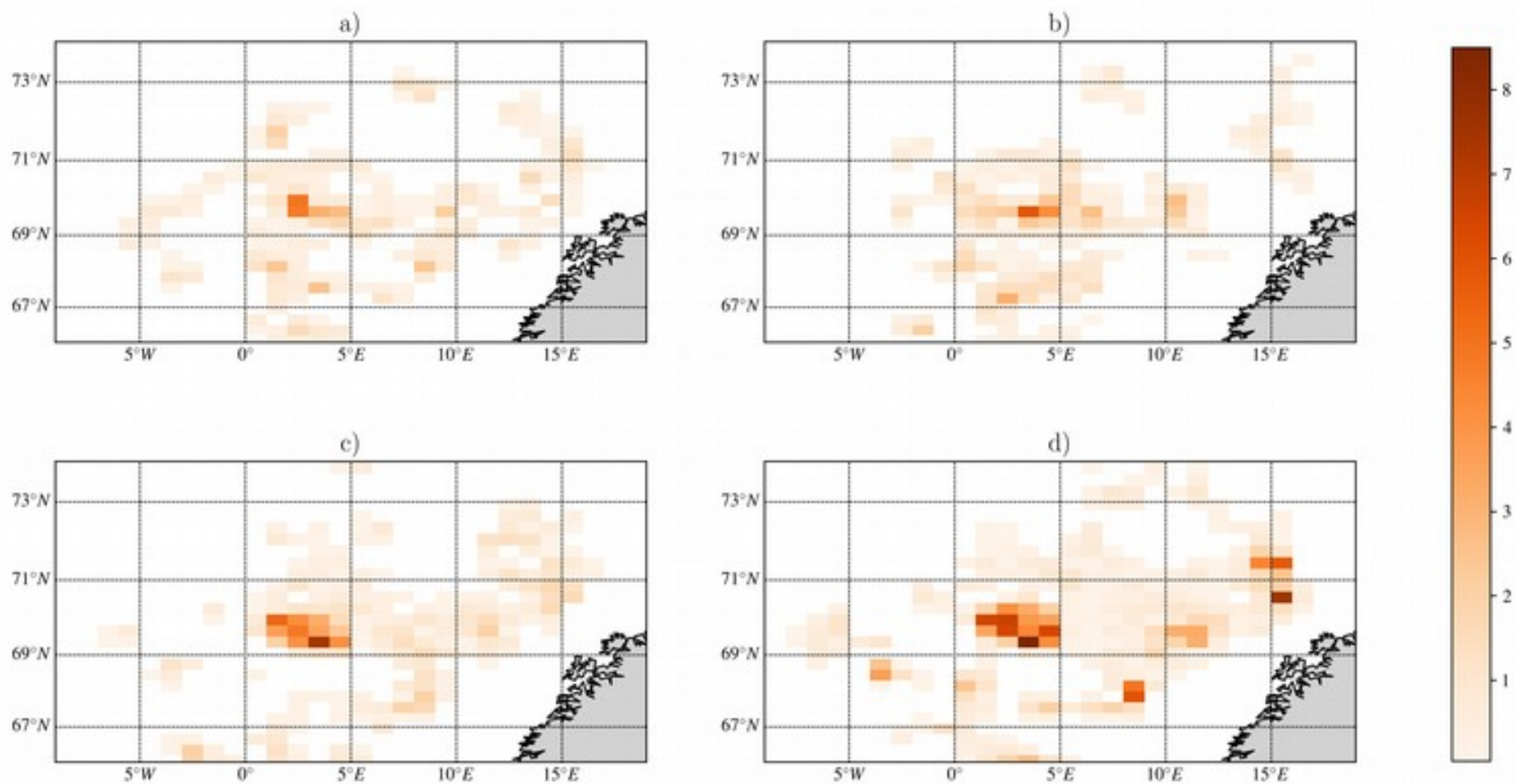
- В среднем за год выявляется 13-14 тысяч вихревых образований;
- За весь период исследования с 1993 по 2017 г.г. было выделено 22090 антициклонических и 23242 циклонических вихревых треков;
- 99% треков было отсеяно по времени жизни менее 35 суток, что короче временной дискретности спутниковых измерений в исследуемой акватории;





Пространственное распределение частоты появления мезомасштабных вихрей в ячейке (1° долготы, 0.3° широты) за 1993-2017 гг.

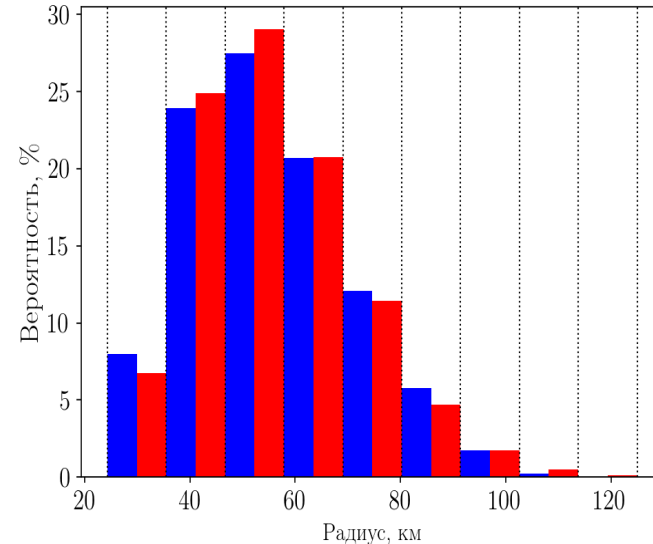
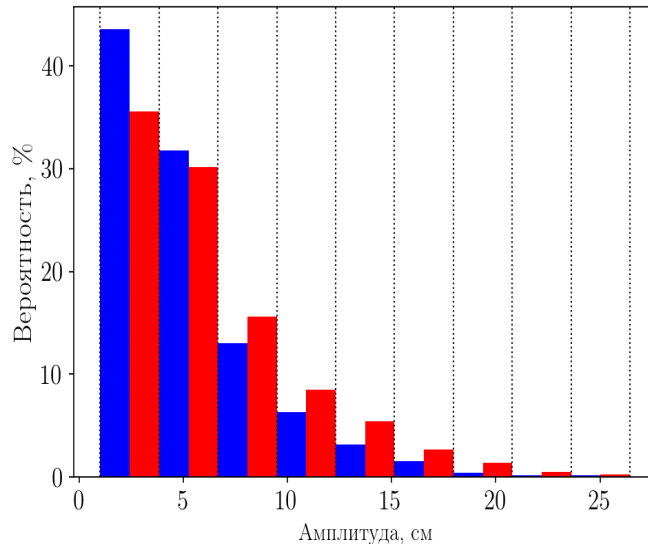
Циклонические – верхняя панель: (a) октябрь-март; (b) апрель-сентябрь;
 антициклонические – нижняя панель: (c) октябрь-март; (d) апрель-сентябрь.

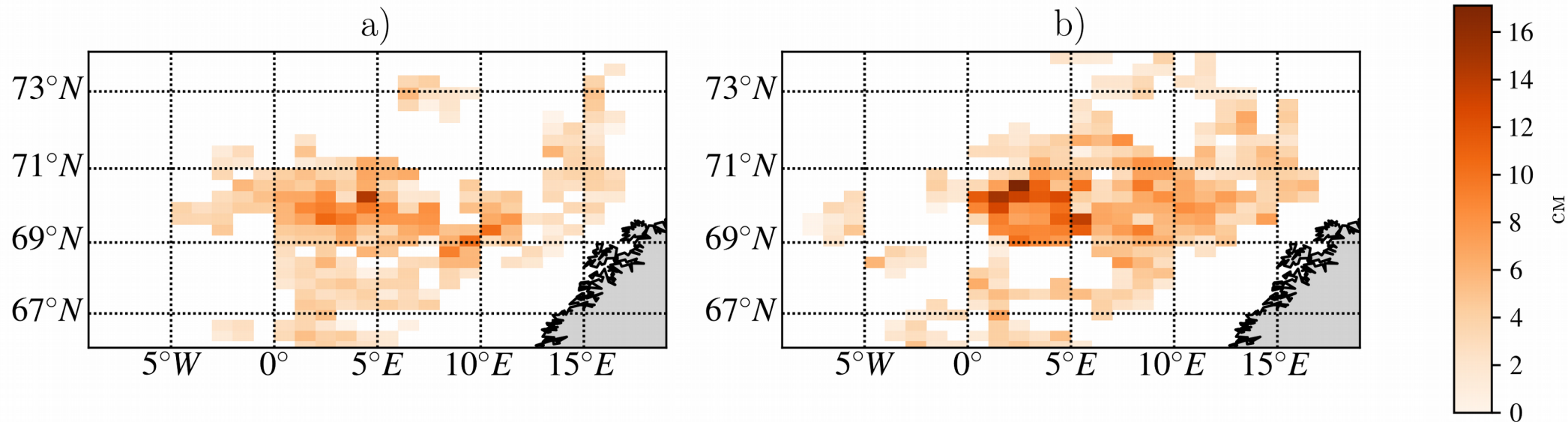


Пространственное распределение частоты появления мезомасштабных вихрей в ячейке (1° долготы, 0.3° широты) за 1993-2017 гг. [с фильтрацией по времени жизни](#)
 Циклонические – верхняя панель: (a) октябрь-март; (b) апрель-сентябрь;
 антициклонические – нижняя панель: (c) октябрь-март; (d) апрель-сентябрь.

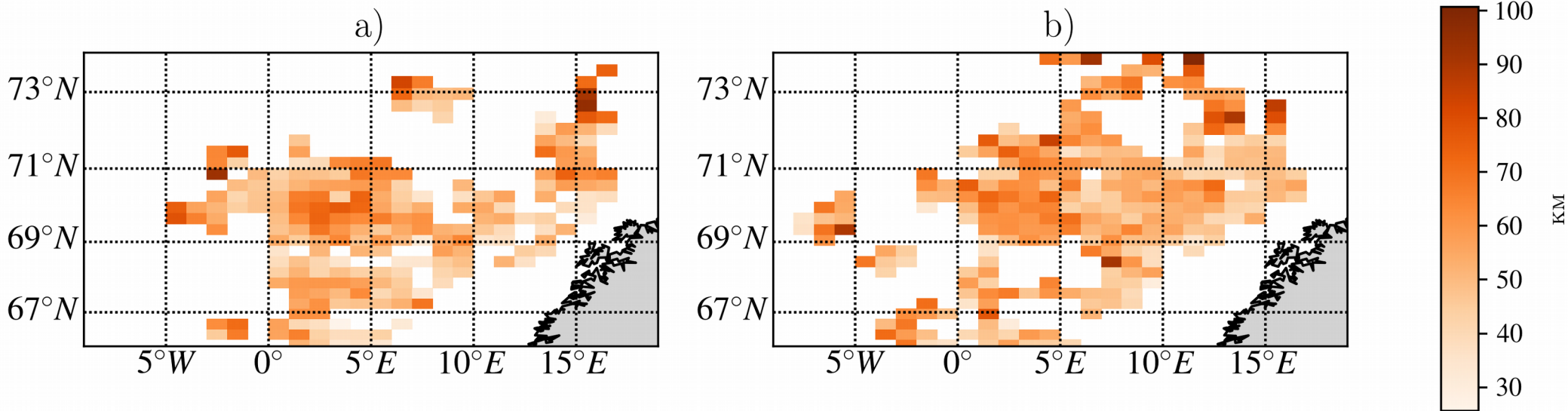
Статистические параметры формы вихрей

Характеристика	Тип вихря	Статистический параметр				
		Среднее	Медиана	STD	Min	Max
Радиус, км	Ц	55.0	53.3	15.8	24.3	122.9
	А	55.1	53.0	15.6	24.3	136.2
Амплитуда, см	Ц	5.2	4.2	3.5	1.0	29.3
	А	6.2	5.0	4.3	1.0	26.6





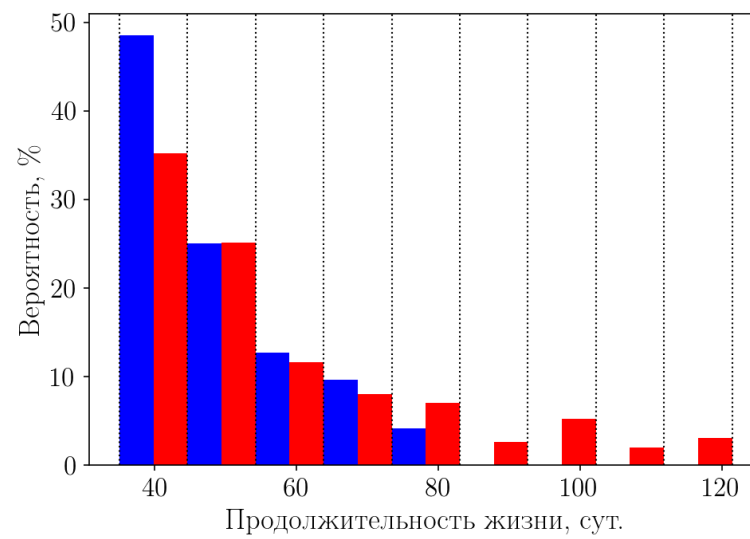
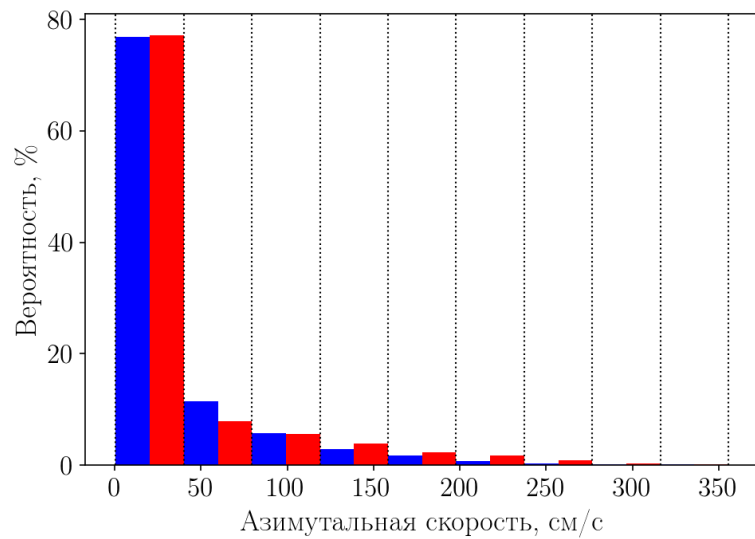
Пространственное распределение средней амплитуды вихрей в ячейке (1° долготы, 0.3° широты) за 1993-2017 гг. (a) циклоны; (b) антициклоны.



Пространственное распределение среднего радиуса вихрей в ячейке (1° долготы, 0.3° широты) за 1993-2017 гг. (a) циклоны; (b) антициклоны.

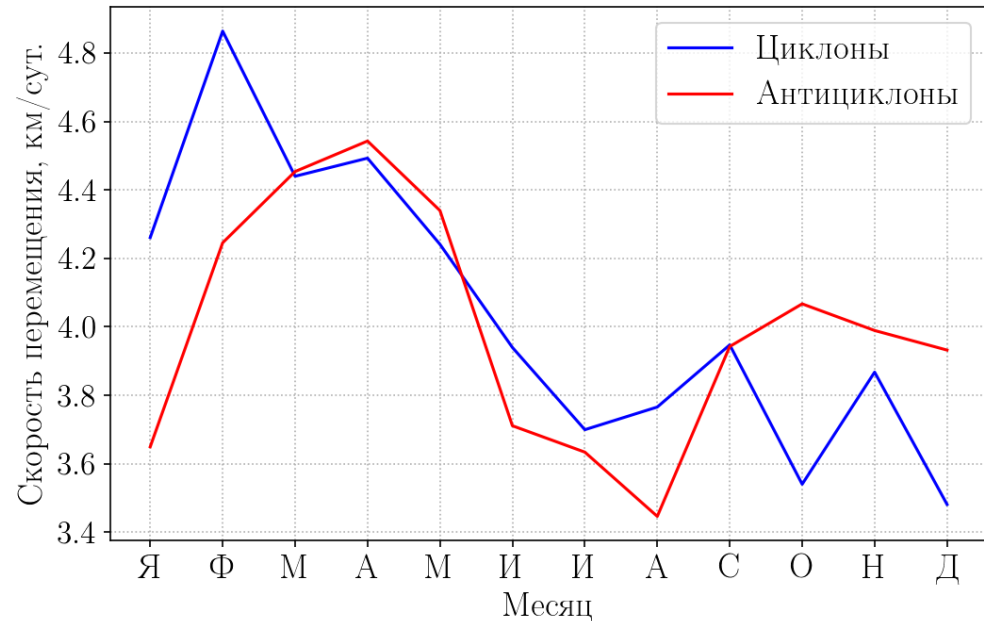
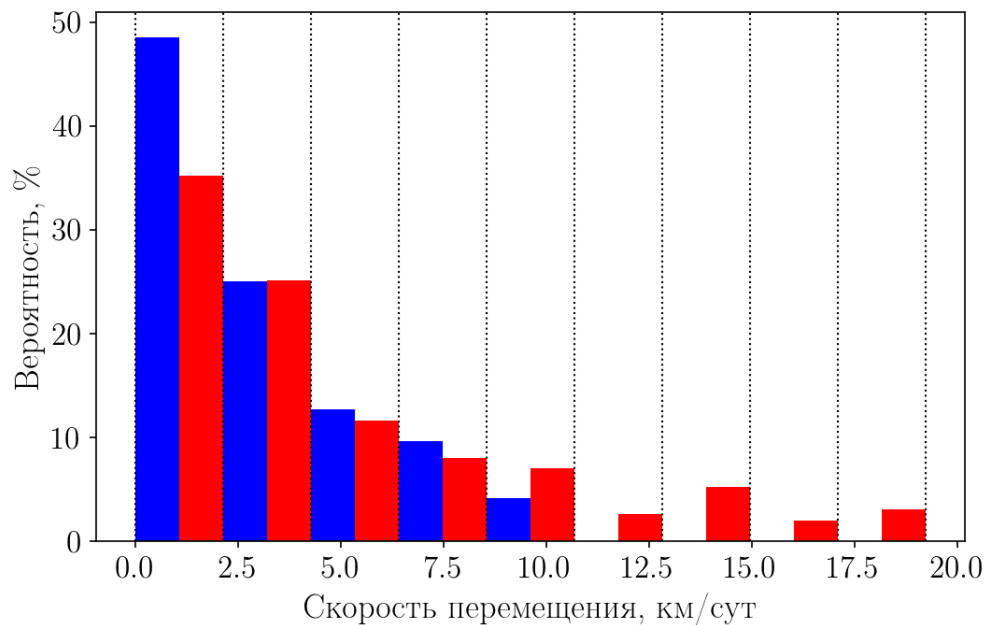
Статистические параметры динамических характеристик вихрей

Характеристика	Тип вихря	Статистический параметр				
		Среднее	Медиана	STD	Min	Max
Азимутальная скорость, см/с	Ц	28.2	6.2	46.6	0.5	348.6
	А	32.3	7.7	54.0	0.6	395.1
Продолжительность жизни, сут	Ц	46.4	43.0	10.2	35.0	80.0
	А	50.8	46.0	16.6	35.0	131.0



Статистические параметры динамических характеристик вихрей

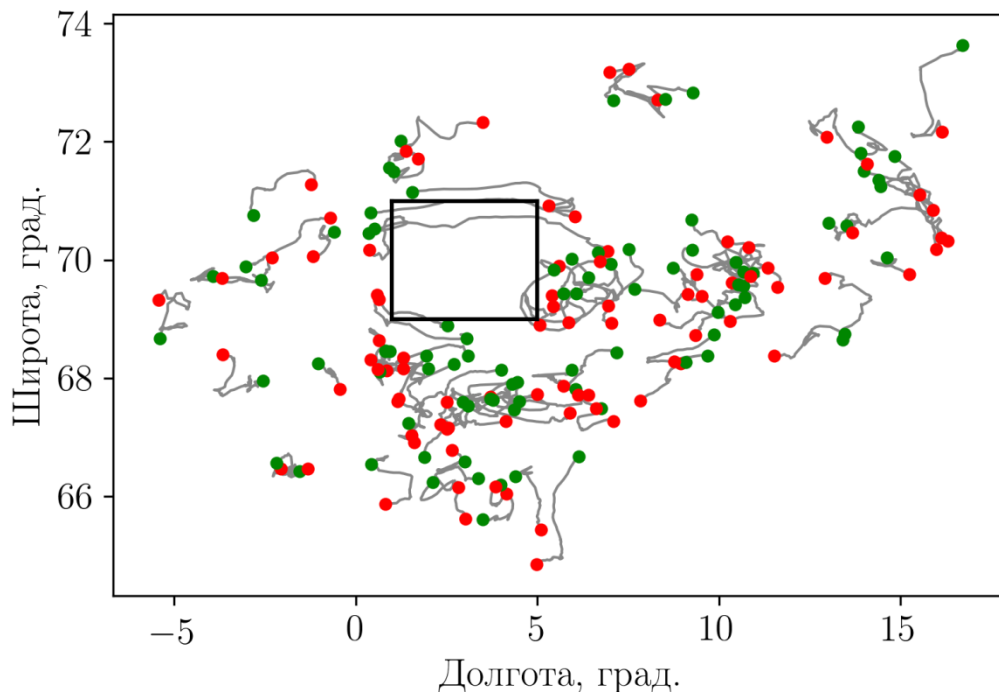
Характеристика	Тип вихря	Статистический параметр				
		Среднее	Медиана	STD	Min	Max
Скорость перемещения, км/сут	Ц	4.0	3.1	3.2	0.0	21.4
	А	4.0	3.1	3.1	0.0	21.2



Анализ треков

Необходимо исследование **треков** вихревых структур, чтобы:

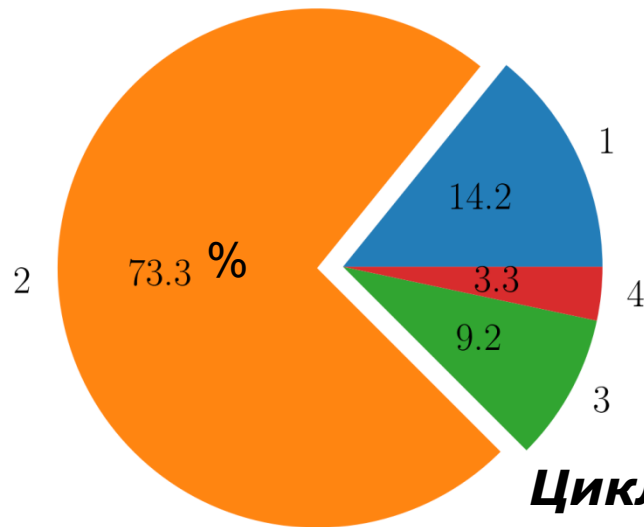
- избежать попадания в выборку вихрей меньшего масштаба;
- избежать попадания "артефактов" в выборку;
- анализировать вихри по их траекториям перемещения.



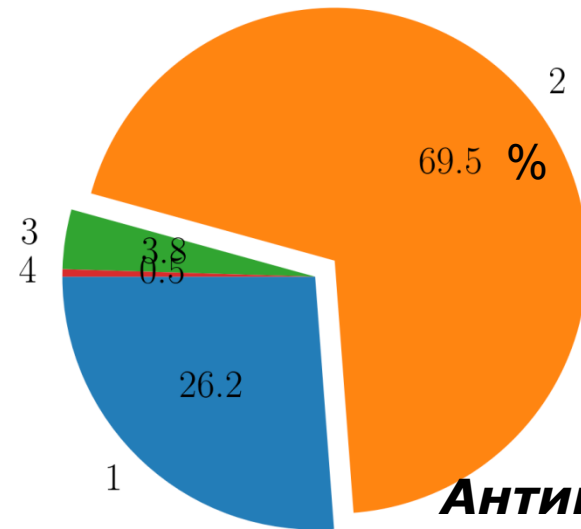
Анализ треков

Все треки были поделены на 4 группы:

1. Зародившиеся внутри зоны ЛВ и распавшиеся там
2. Зародившиеся вне ЛВ и распавшиеся за его пределами
3. Зародившиеся за пределами ЛВ и слившиеся с ним
4. Зародившиеся в ЛВ и вышедшие за его пределы



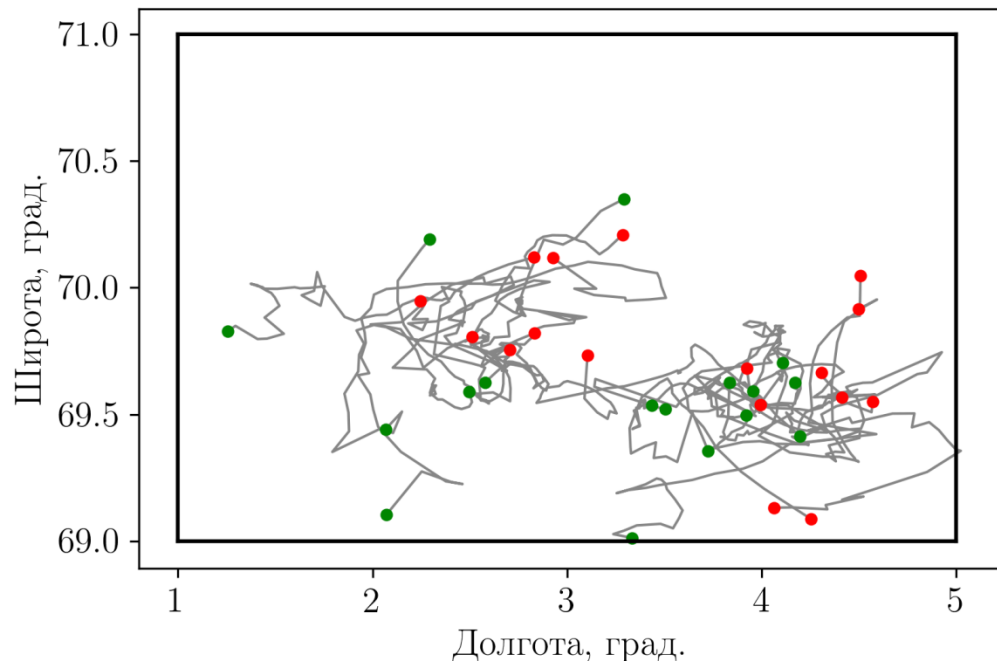
Циклоны
(всего 120 треков)



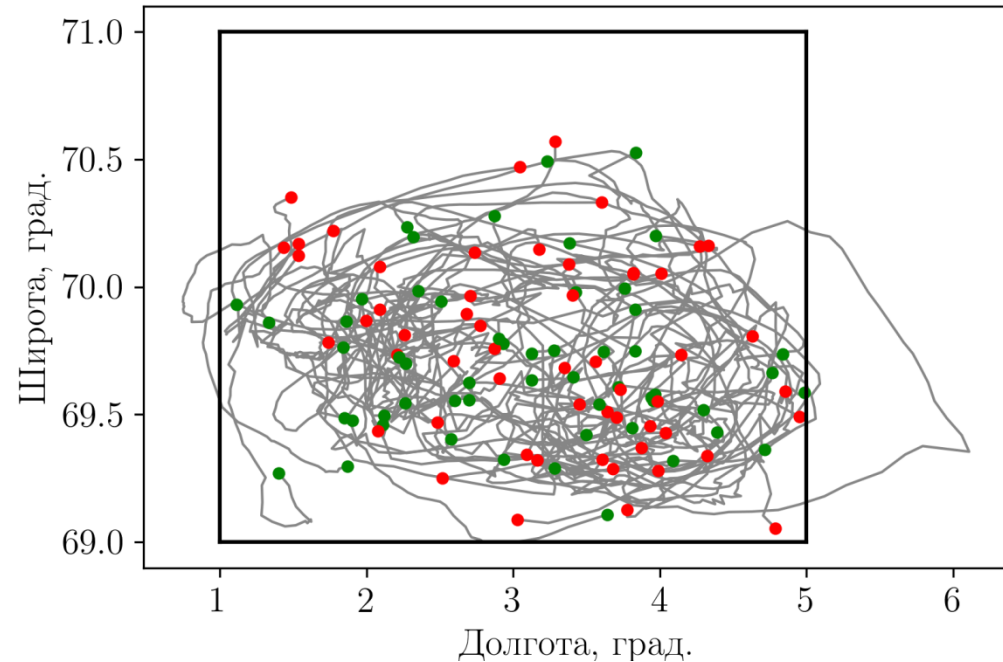
Антициклоны
(всего 210 треков)

1 группа треков

Зародившиеся внутри зоны ЛВ и распавшиеся там



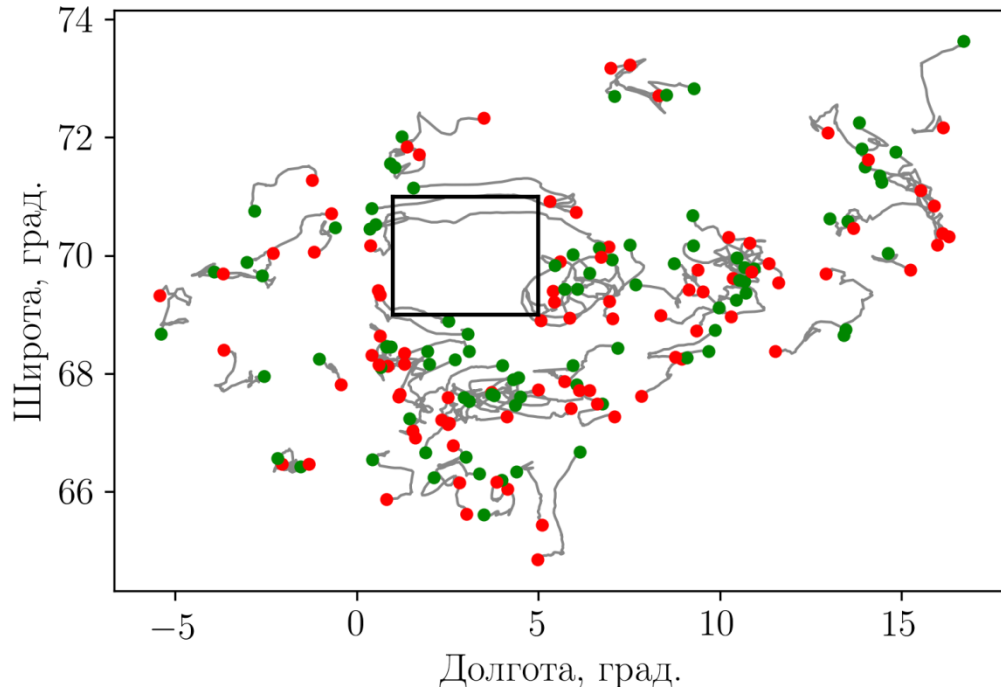
Циклоны (17)



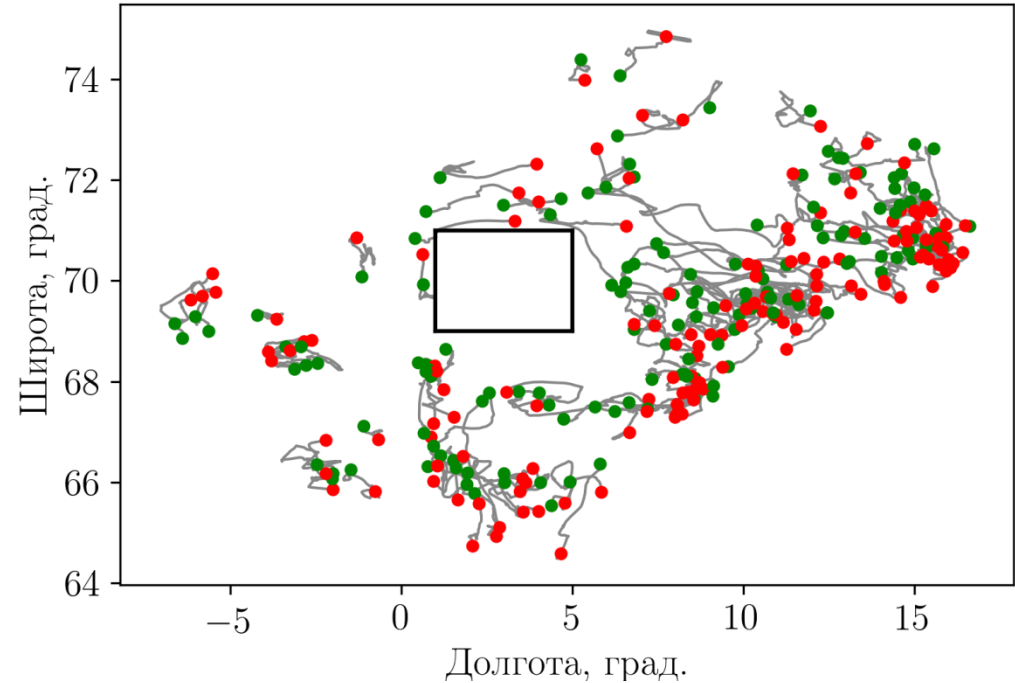
Антициклоны (55)

2 группа треков

Зародившиеся вне ЛВ и распавшиеся за его пределами



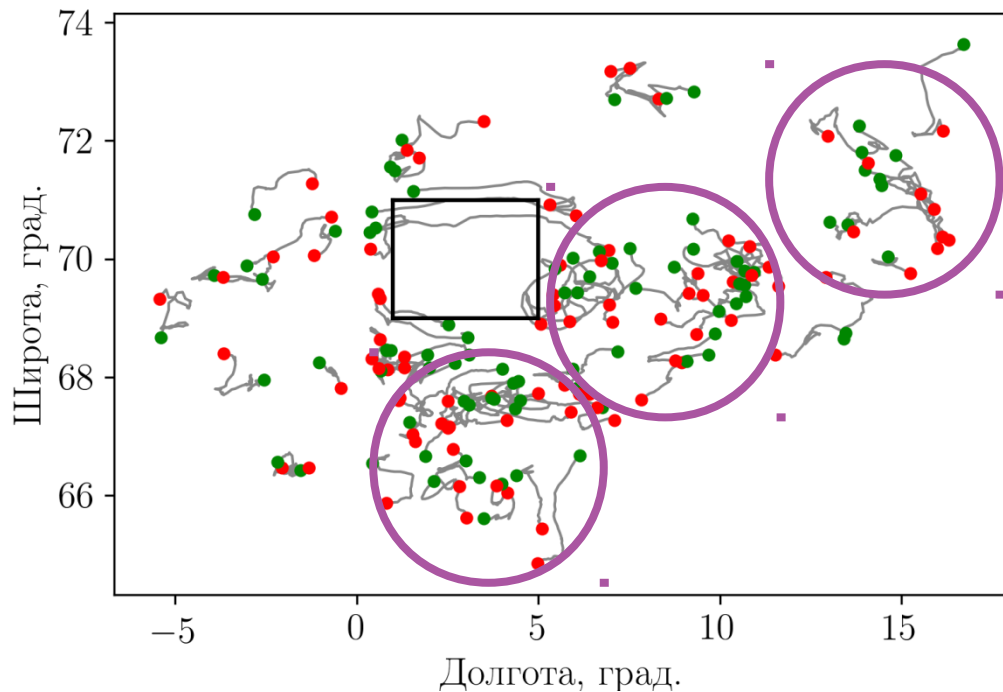
Циклоны (88)



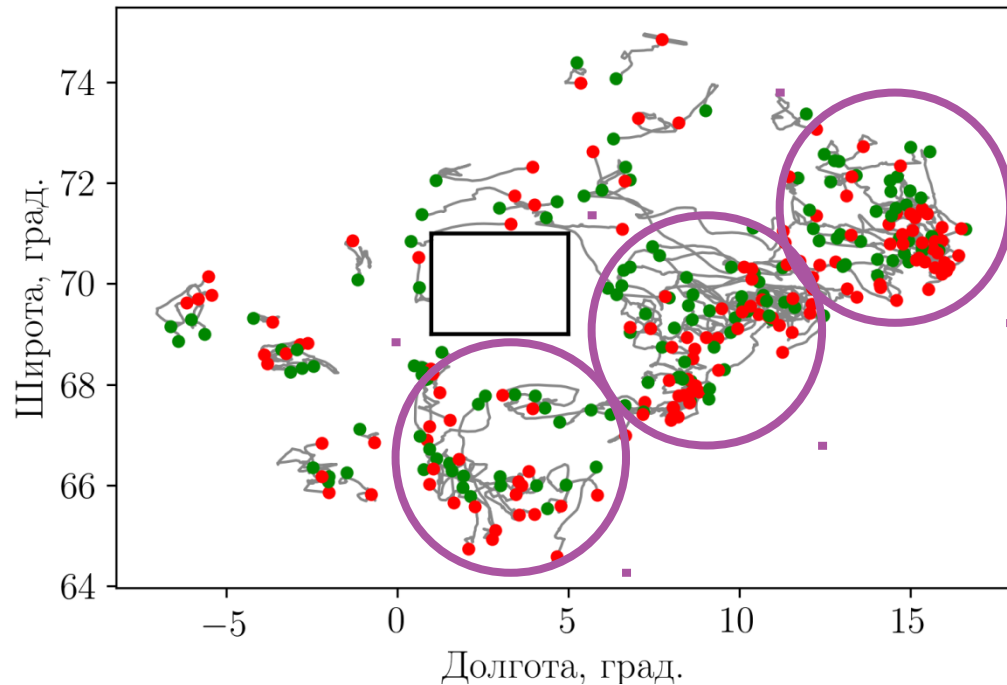
Антициклоны (146)

2 группа треков

Зародившиеся вне ЛВ и распавшиеся за его пределами



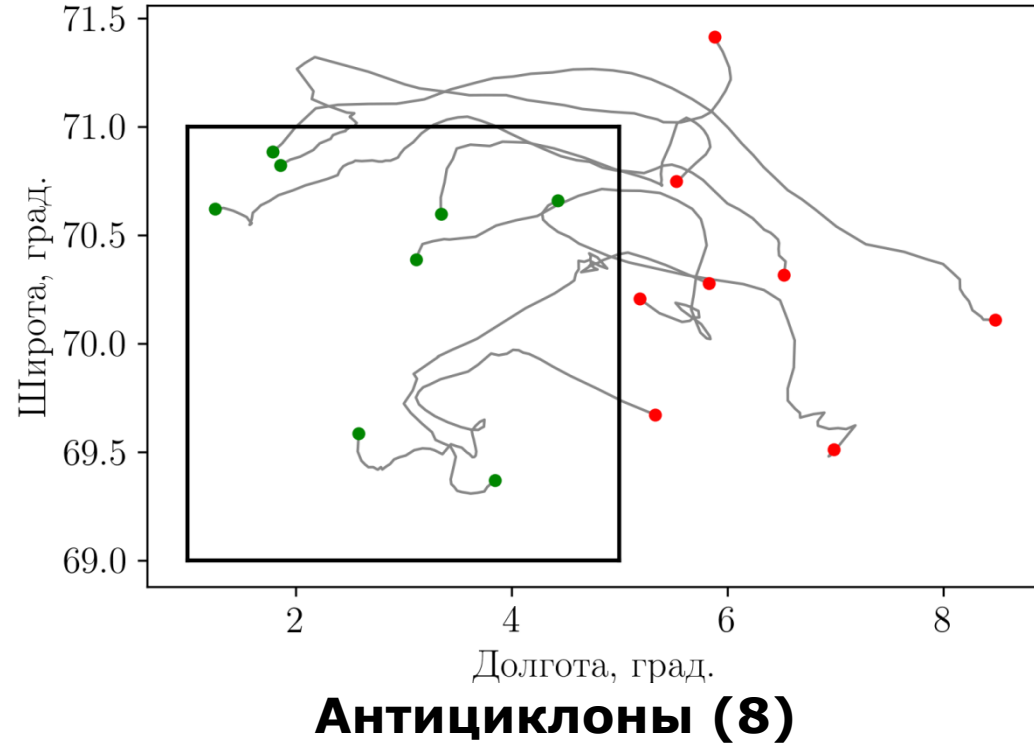
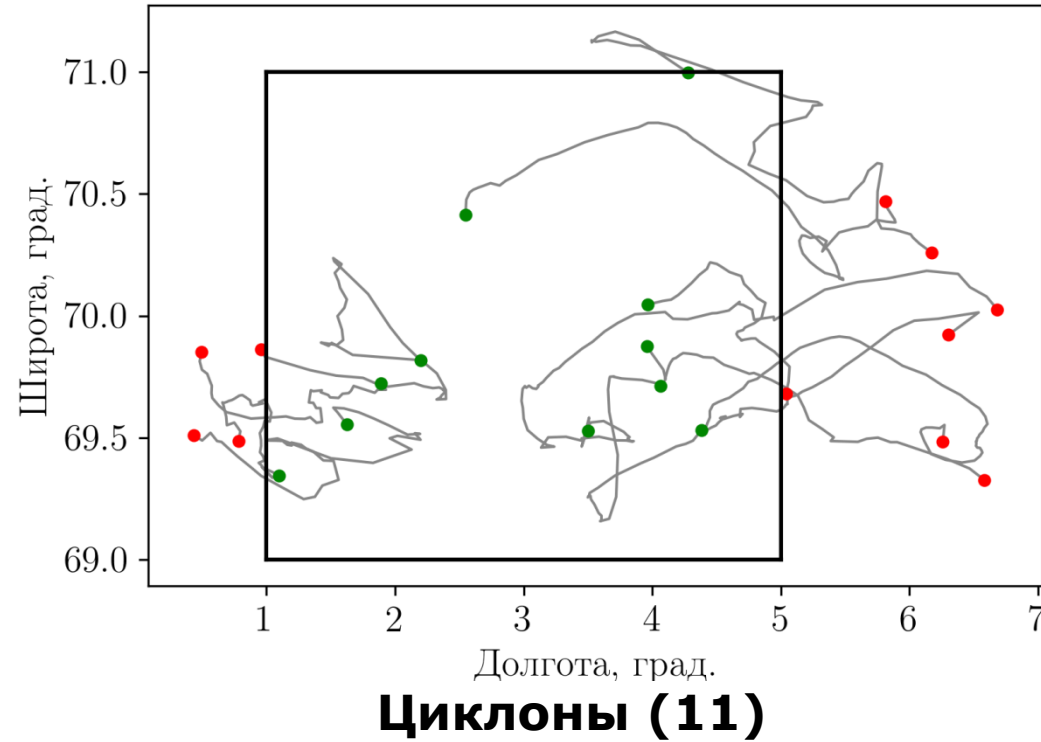
Циклоны (88)



Антициклоны (146)

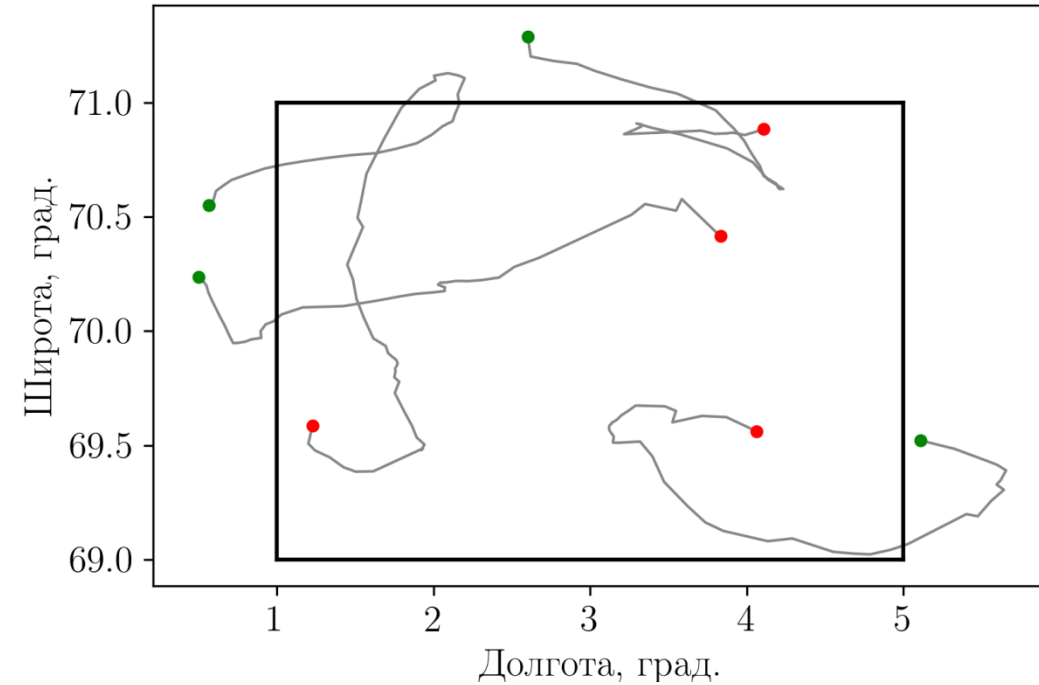
3 группа треков

Зародившиеся за пределами ЛВ и слившиеся с ним

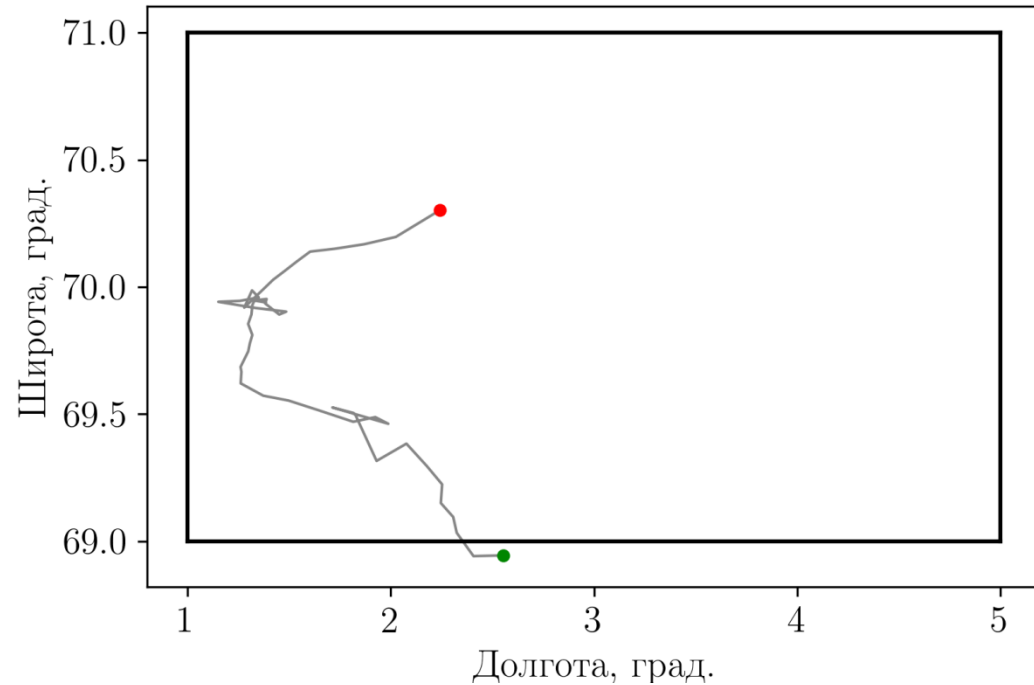


4 группа треков

Зародившиеся в ЛВ и вышедшие за его пределы



Циклоны (4)



Антициклоны (1)

Итоги работы

Статистический анализ мезомасштабных вихревых образований в Норвежском море показал:

1. На акватории Норвежского моря равновероятно встречаются как циклонические, так и антициклонические образования.
2. Чаще всего вихри отмечаются в зоне меандрирования Норвежского течения и в Лофотенской котловине.
3. Статистические параметры циклонических и антициклонических вихрей практически одинаковы: средний радиус 53-55 км, амплитуда в центре – 4-6 см, продолжительность жизни – 43-50 сут, скорость перемещения 4 км/сут.
4. Радиус вихревых образований по мере удаления от места их образования увеличивается, а амплитуда уменьшается.
5. Вихревые образования наименее динамичны летом и осенью.

Анализ пространственной структуры треков мезомасштабных вихревых образований в Норвежском море выявил, что на акватории существуют **две** преобладающие, слабо связанные друг с другом, системы формирования вихрей, которые могут отражать разный механизм их образования:

1. Отрыв от Норвежского течения при его меандрировании;
2. Генерация Лофотенским вихрем.

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда,
грант № 18-17-00027