

Межгодовая изменчивость Камчатского течения зимой и летом (по данным спутниковой альтиметрии)

Трусенкова О.О., Кустова Е.В.
ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток



22-я конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», 11 - 15 ноября 2024 г., г. Москва

Введение: схема течений в тихоокеанской субарктике и Беринговом море

Камчатское течение – важный
промысловый район

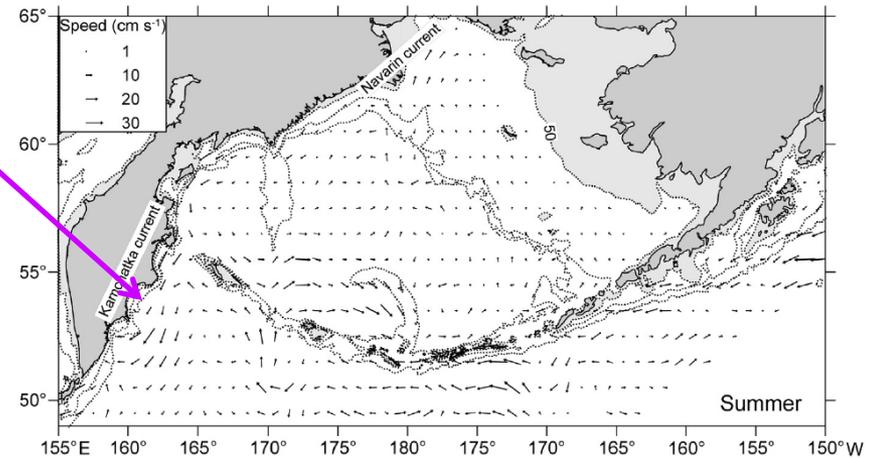
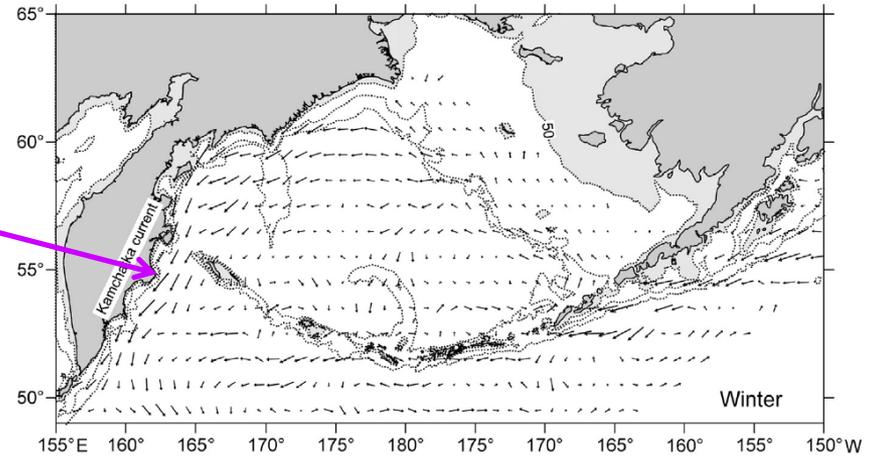
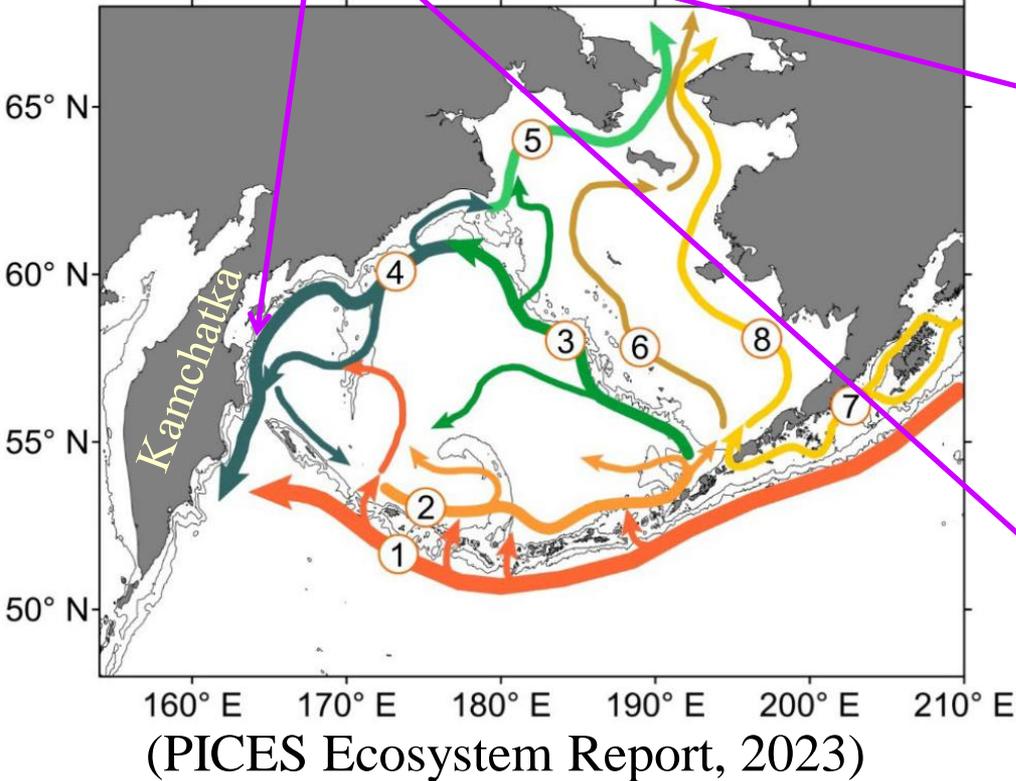


Схема по экспедиционным данным и буям.
Камчатское течение под воздействием ветра:
усиливается зимой, ослабляется летом.

(Hen et al., 2013; также по Арго
Никитин, Жуковский, 2023)

Вихреобразование: неустойчивость Камчатского течения, открытые заливы, мысы

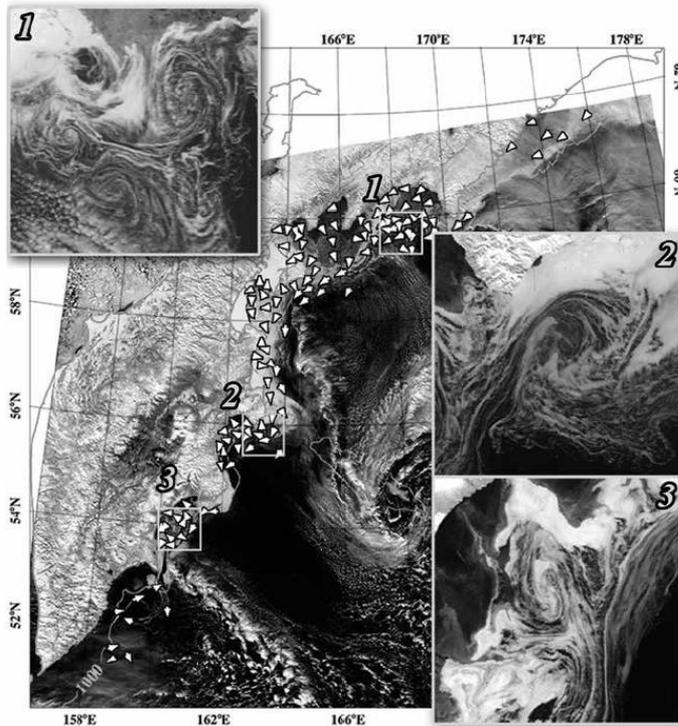


Рис. 1. Изображение в видимом диапазоне электромагнитного спектра, полученное 12 марта 2016 г. спектрорадиометром MODIS со спутника Aqua. Стрелками показаны вектора дрейфа льда, рассчитанные на временном интервале 110 мин. На врезках показаны увеличенные фрагменты изображения размером 87,5x87,5 км

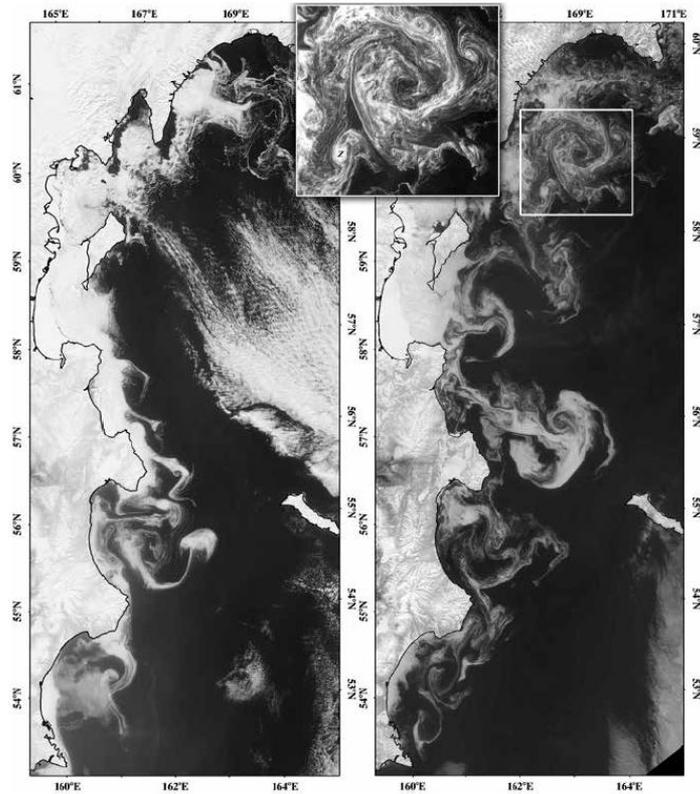


Рис. 2. Ледяной покров на изображениях, полученных спектрорадиометром MODIS со спутника Aqua 3 апреля 2016 г. (слева) и 17 апреля 2012 г. (справа). На врезке увеличенный фрагмент, границы которого показаны белым прямоугольником

Вихри в плавучем льду (Вакульская и др, 2019)

(Solomon, Ahlnäs, 1978; Храпченков, 1985; Stabeno et al., 1994;
Рогачев, Шлык, 2019)

Цель работы

Анализ изменчивости Камчатского течения и оценка временных масштабов этой изменчивости по регулярным данным спутниковой альтиметрии, доступным за 30-летний период с января 1993 г.

Актуально ввиду недостаточности систематических данных об изменчивости течения, что особенно касается межгодовых масштабов

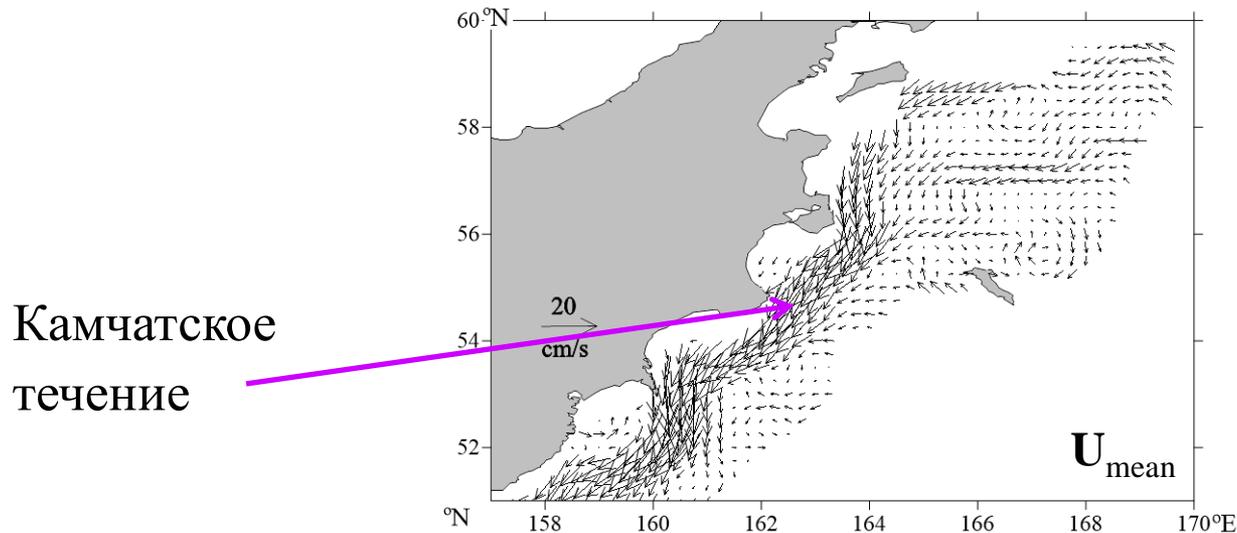
Данные

проект CMEMS: геострофические скорости течения и их аномалии (по отношению к 1993 – 2012 гг.),

Ежесуточные сеточные данные, $1/4^\circ$, 1 января 1993 г. – 7 июня 2023 г.

Район: зона Камчатского течения; исключены узлы, где был пропуск данных (припай) хотя бы раз.

Низкочастотная фильтрация с периодом отсечения 15 недель – для получения интерпретируемых мод и сохранения сезонной изменчивости.



Камчатское
течение

Средние течения по
альтиметрическим
данным

Методы

Разложение на ЭОФ в комплексной форме

Вектора как комплексные числа: $\mathbf{U} = U + iV$, где \mathbf{U} – вектор скорости, U и V – зональная и меридиональная составляющие скорости.

Вейвлет-преобразование для определения масштабов изменчивости и фильтрации данных.

Комплексный ЭОФ-анализ (КЭОФ)

Применяется к аномалиям векторов скорости.

$$\mathbf{X}(\mathbf{r}, t) = \sum \mathbf{A}_k^*(\mathbf{r})\mathbf{B}_k(t), \text{ где}$$

$\mathbf{X}(\mathbf{r}, t) = U(\mathbf{r}, t) + iV(\mathbf{r}, t)$, где U/V – зональная и меридиональная составляющие скорости,

$\mathbf{A}_k(\mathbf{r})$ – комплексные ЭОФ, $*$ – комплексное сопряжение,

$\mathbf{B}_k(t)$ – комплексные главные компоненты.

Амплитудно-фазовое представление:

$$\mathbf{A}_k(\mathbf{r}) = A_k(\mathbf{r})e^{-i\phi(\mathbf{r})}$$

$$\mathbf{B}_k(t) = B_k(t)e^{-i\phi(t)}$$

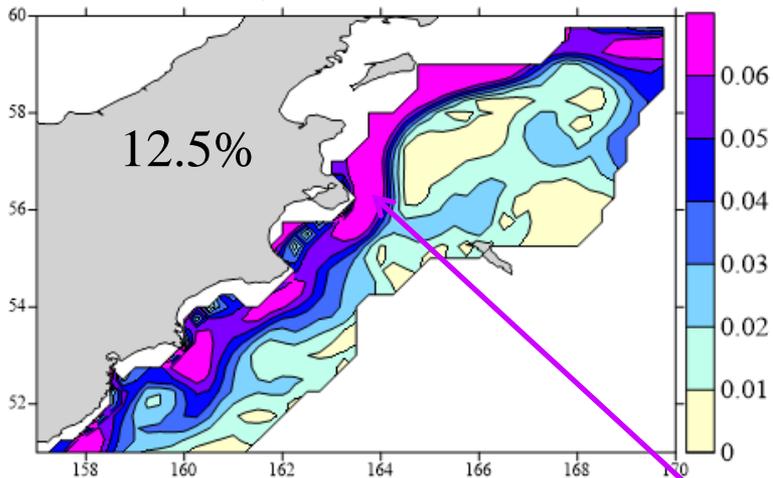
A_k, B_k представляют модуль скорости течения,

ϕ_k, ϕ_k ($-180^\circ, 180^\circ$) представляют повороты течения в пространстве и во времени.

КЭОФ аномалий векторов скорости ветра

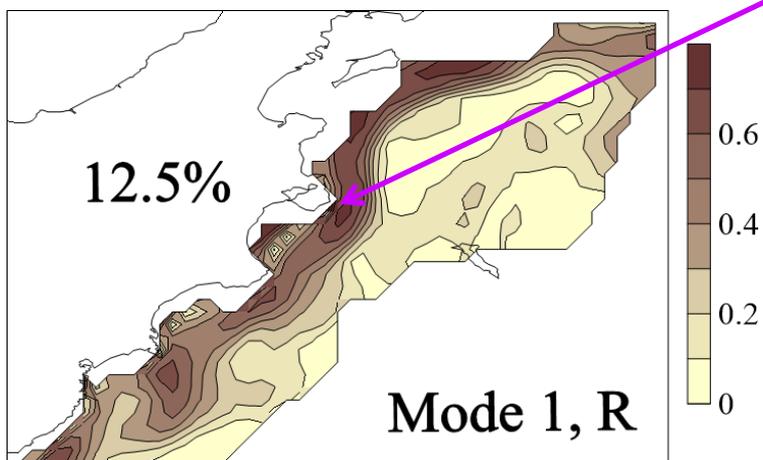
Пространственная амплитуда (A_1):

максимум в зоне течения



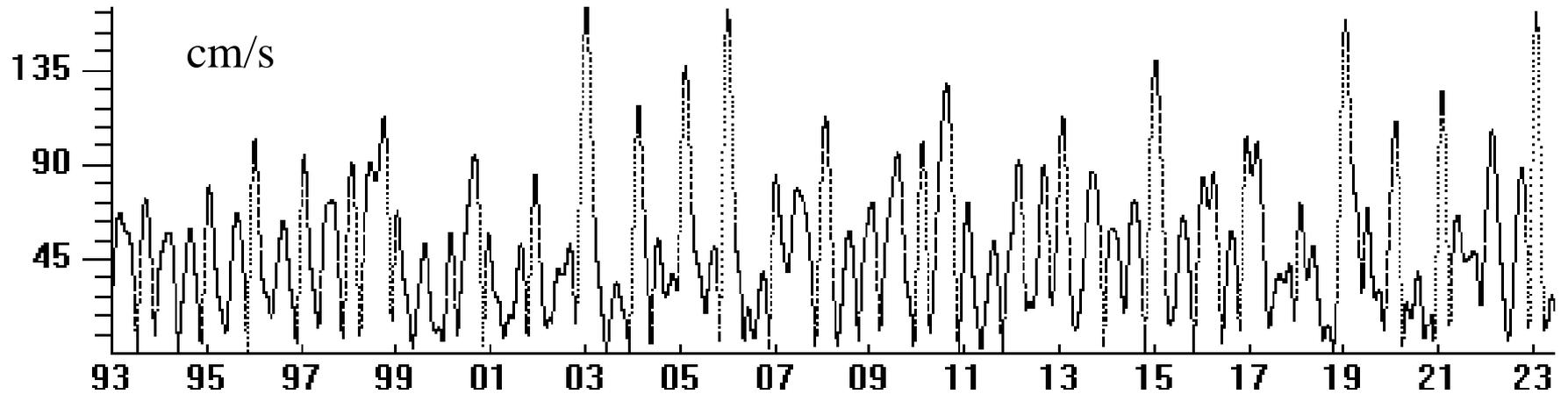
Доля учитываемой дисперсии всего поля невелика \rightarrow оценка корреляций (R) между временной амплитудой (B_1) и модулями исходной скорости ($|U|$).

Корреляции

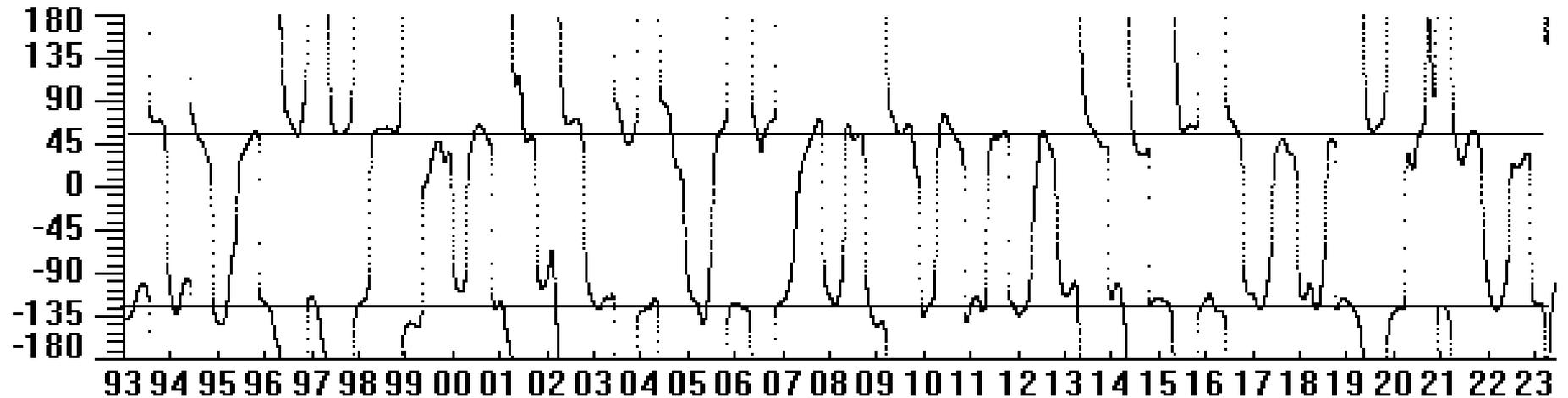


Учтенная модой локальная дисперсия в пределах течения составляет (35-50%), что позволяет интерпретировать моду.

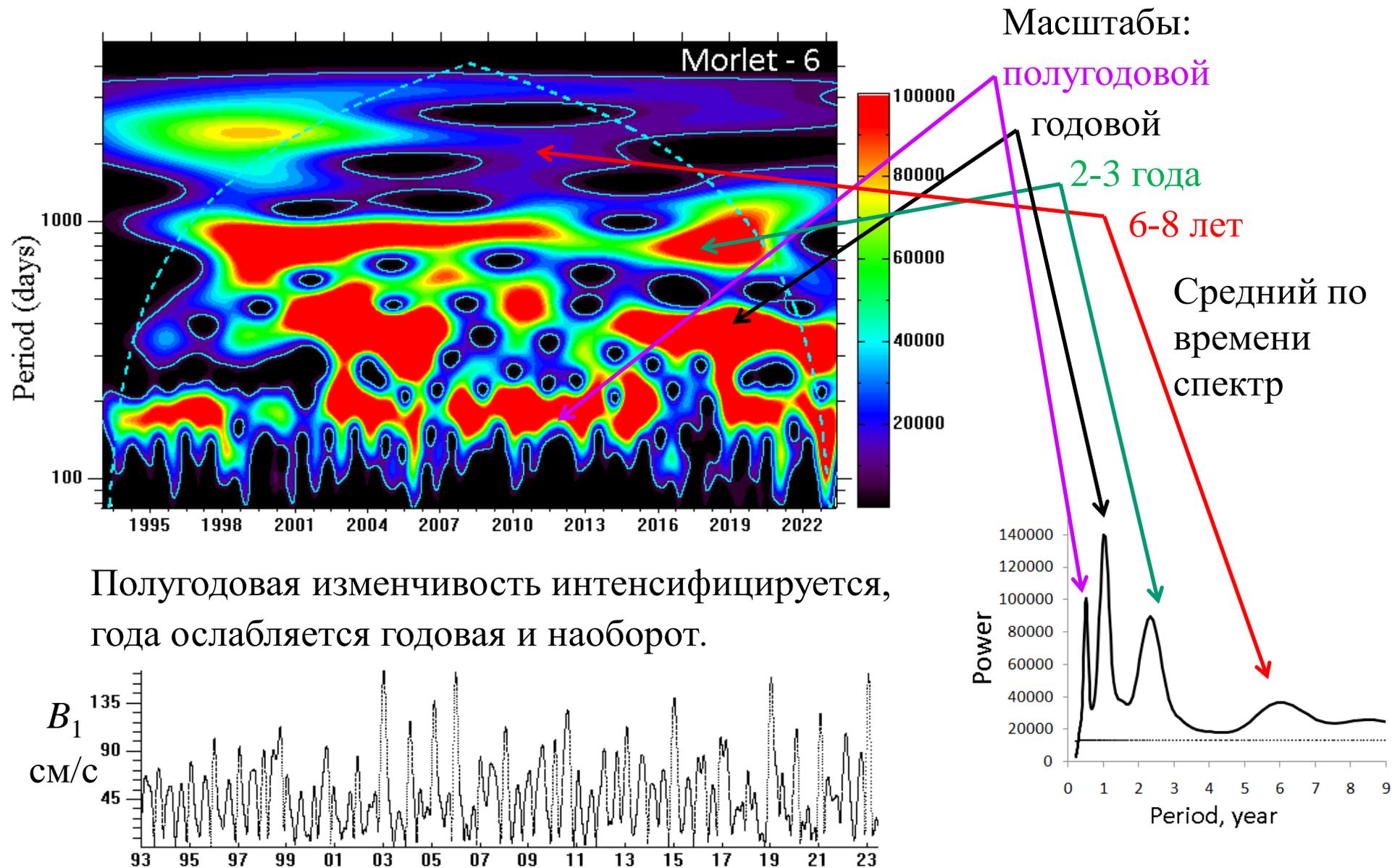
Временная амплитуда, B_1



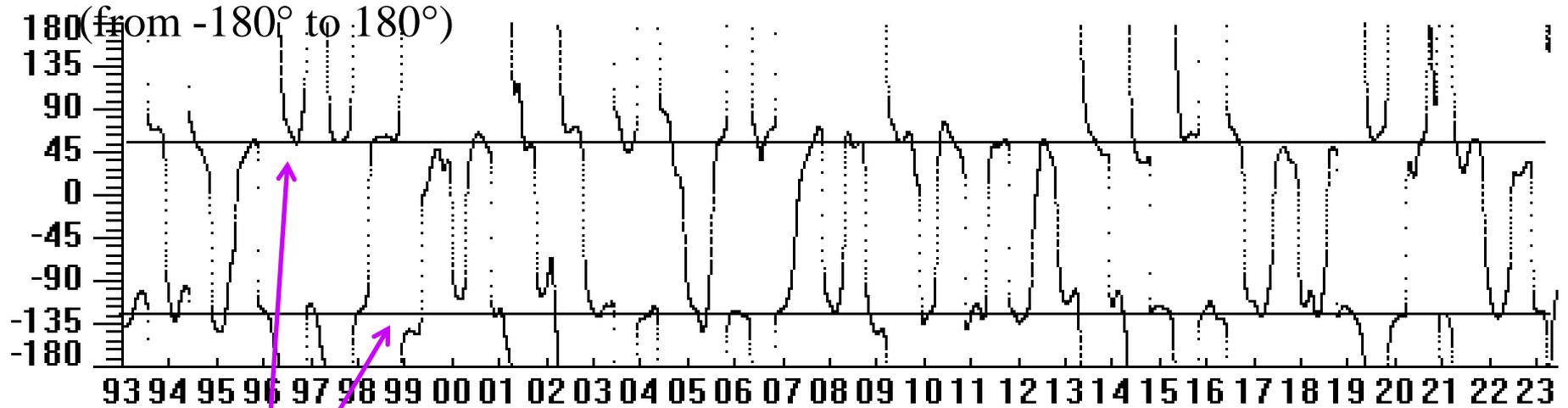
Временная фаза, ϕ_1 (от -180° до 180°)



Вейвлет-спектр временной амплитуды B_1



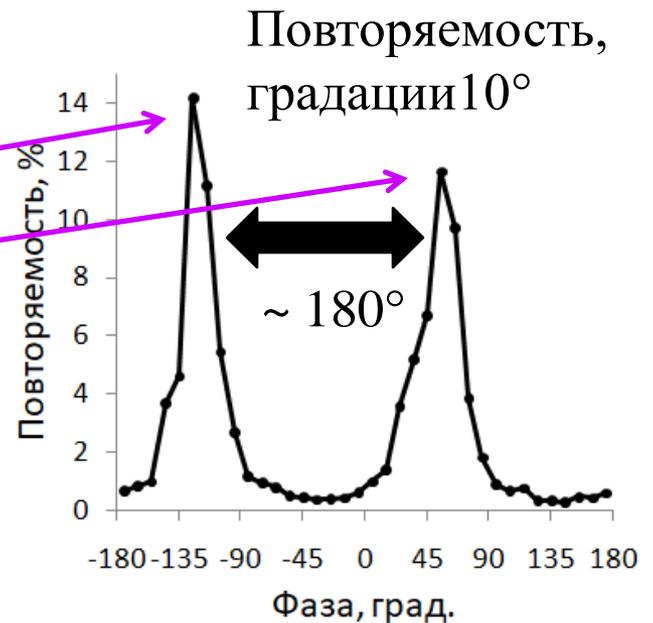
Временная фаза, ϕ_1



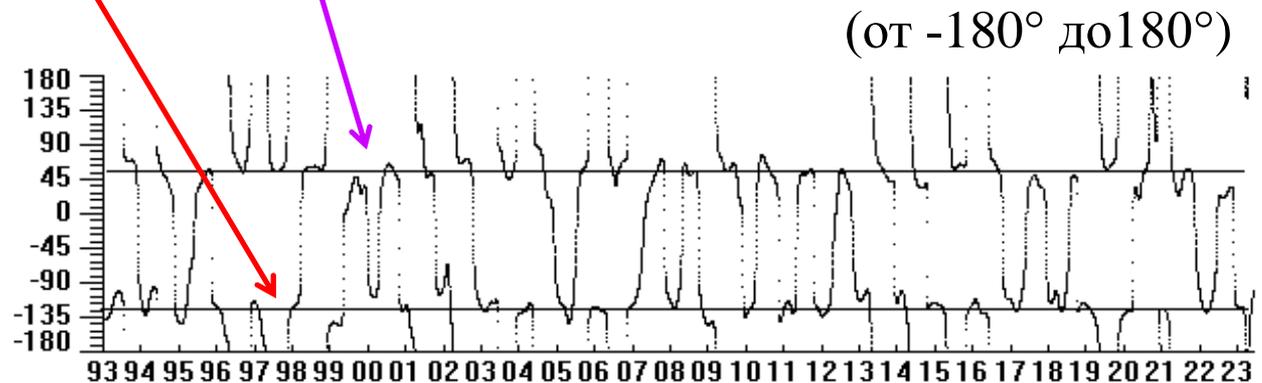
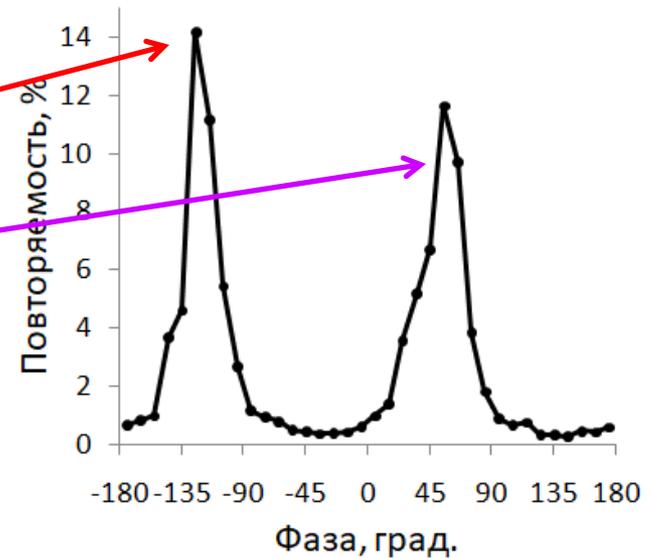
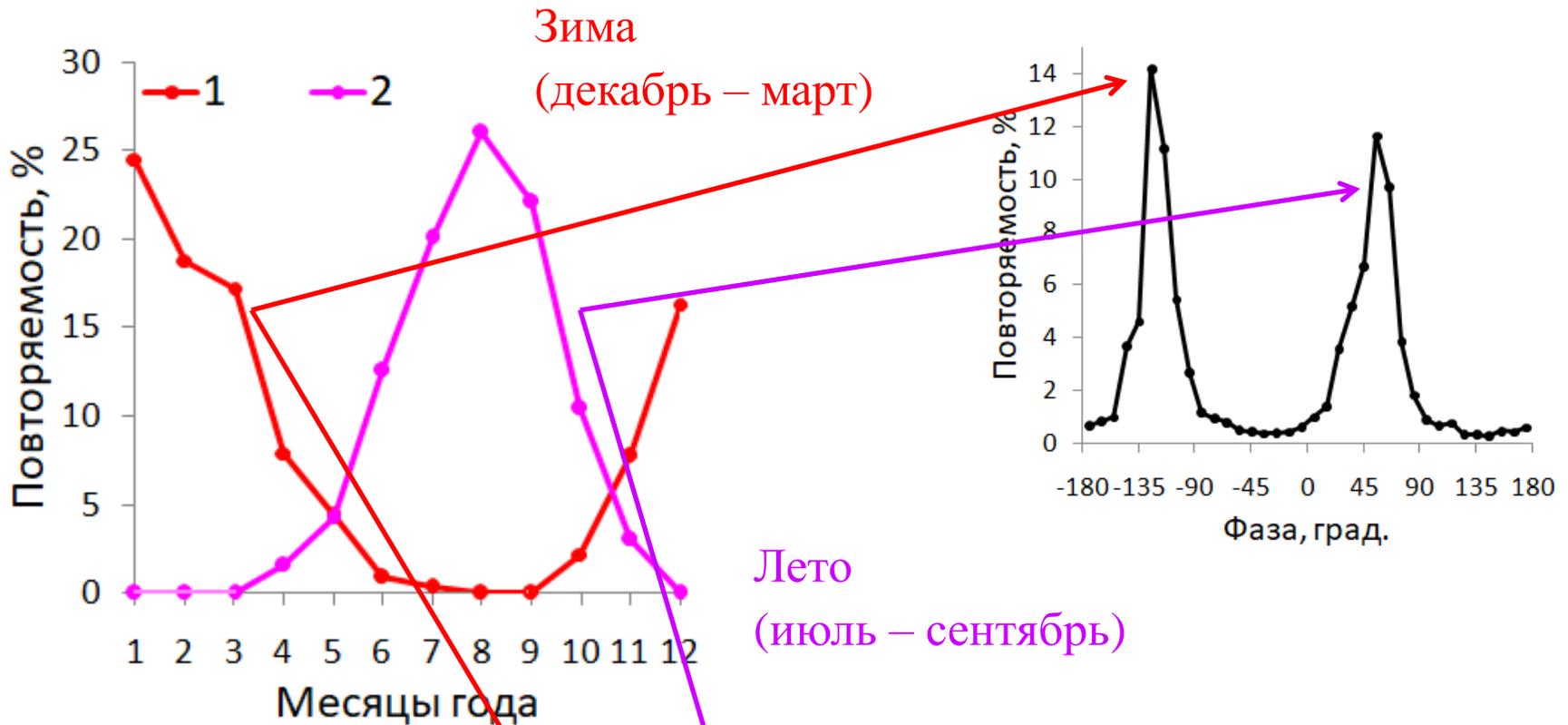
Выделенные значения фазы

Соответствуют пикам
гистограммы:
от -110° до -130°
от 50° до 70°

Течения противоположных
направлений!

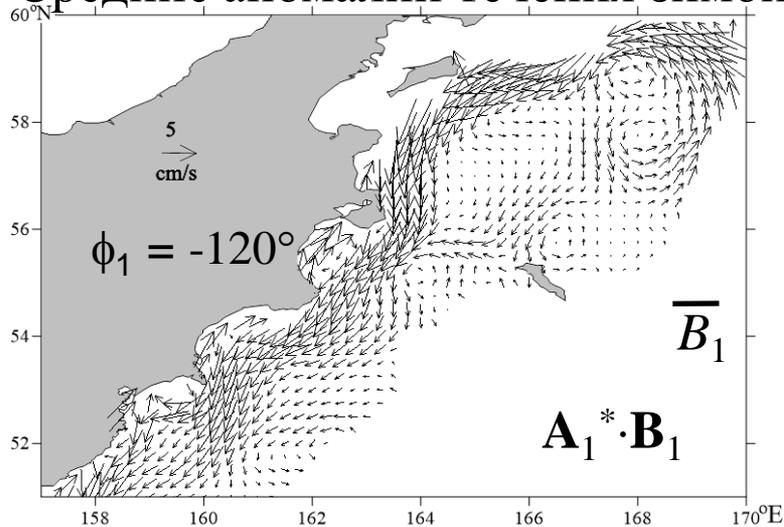


Помесячная повторяемость временной фазы

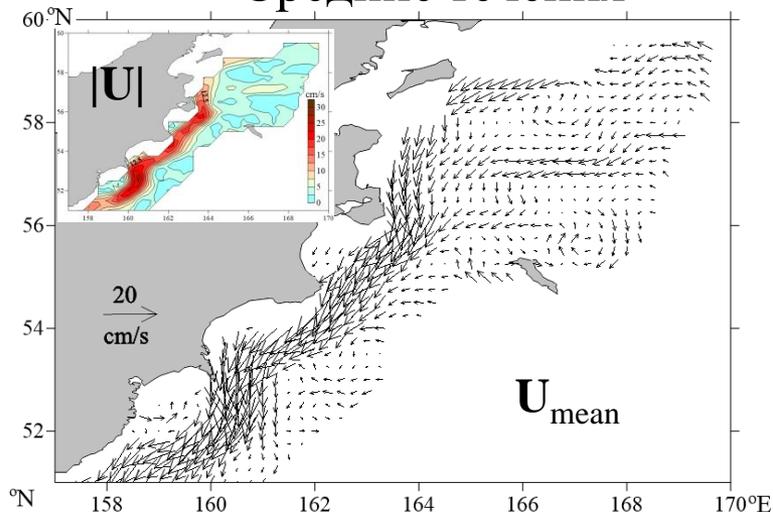


Вклад моды 1 в Камчатское течение для наиболее повторяемой временной фазы ϕ_1 : зима

Средние аномалии течения зимой



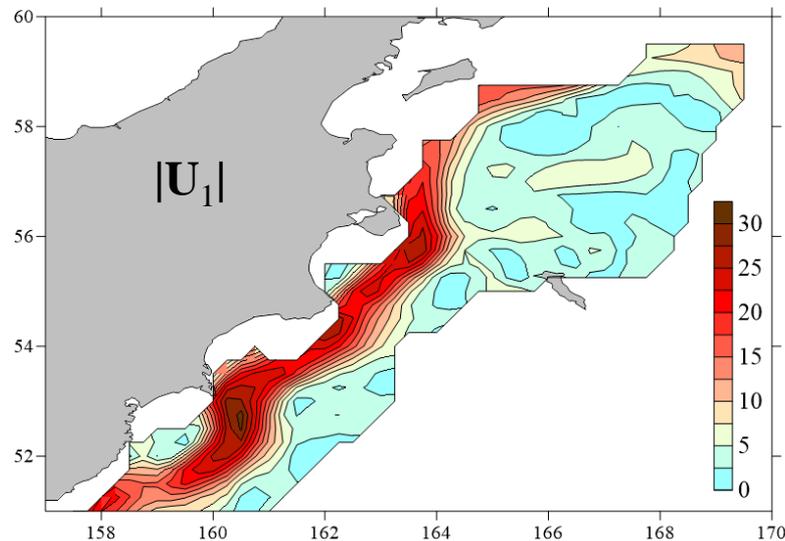
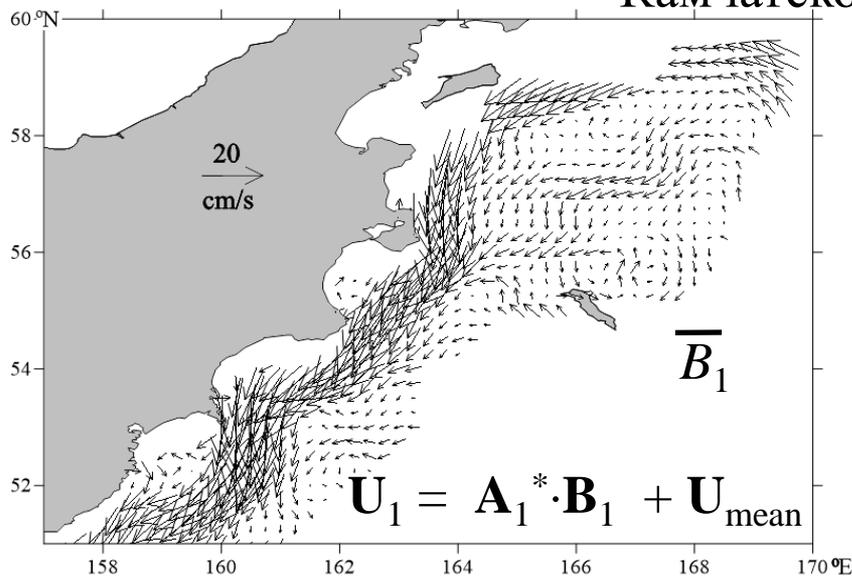
Средние течения



Камчатское течение зимой

Для средней B_1

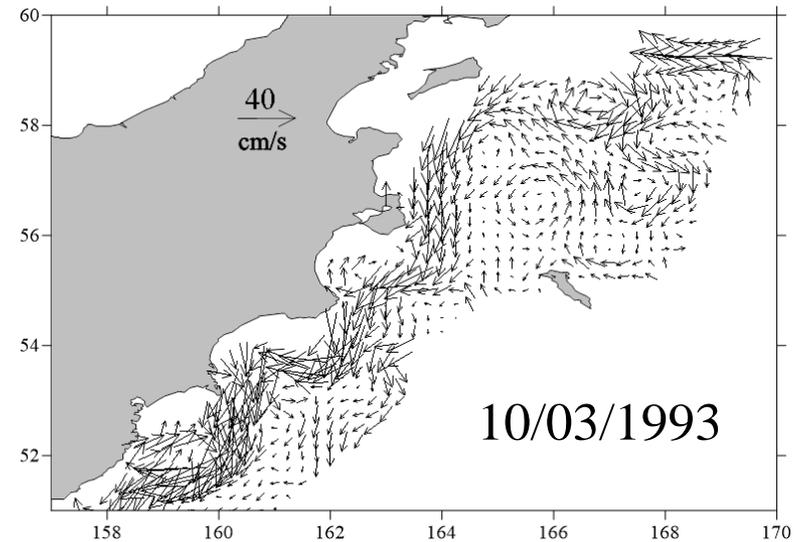
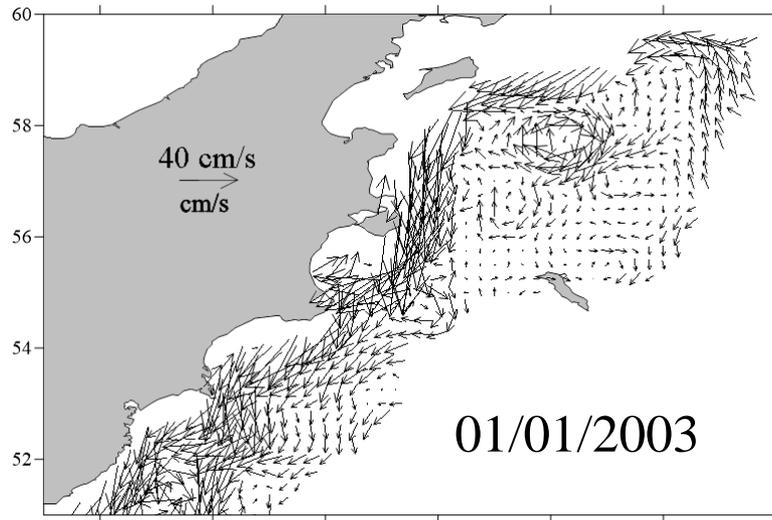
Интенсификация



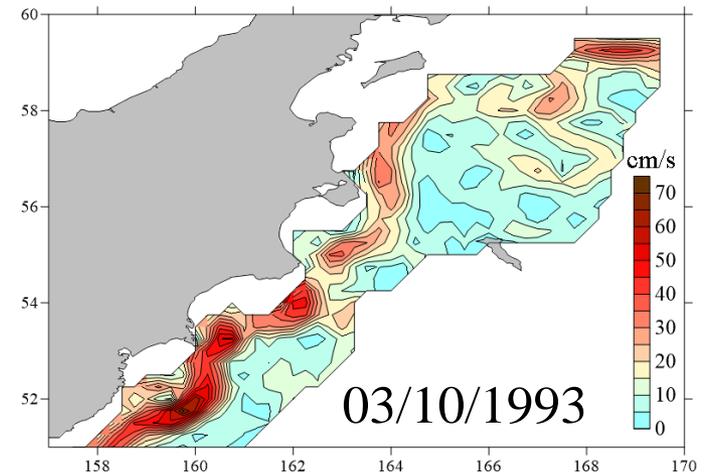
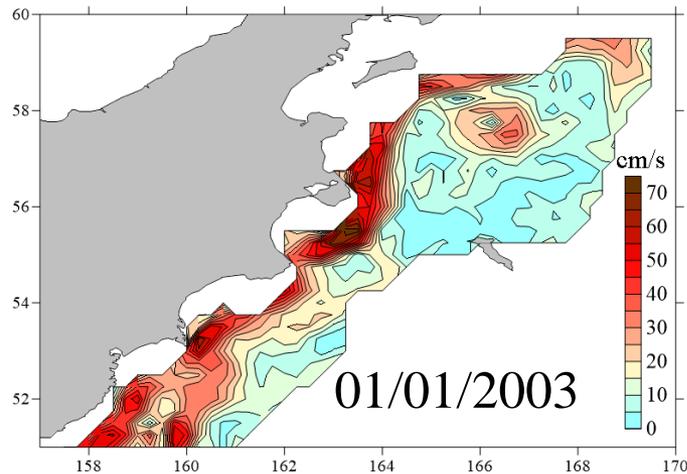
Камчатское течение при сильной и слабой моде 1 (зима)

Сильная мода – интенсивное течение

Слабая мода – ослабленное течение

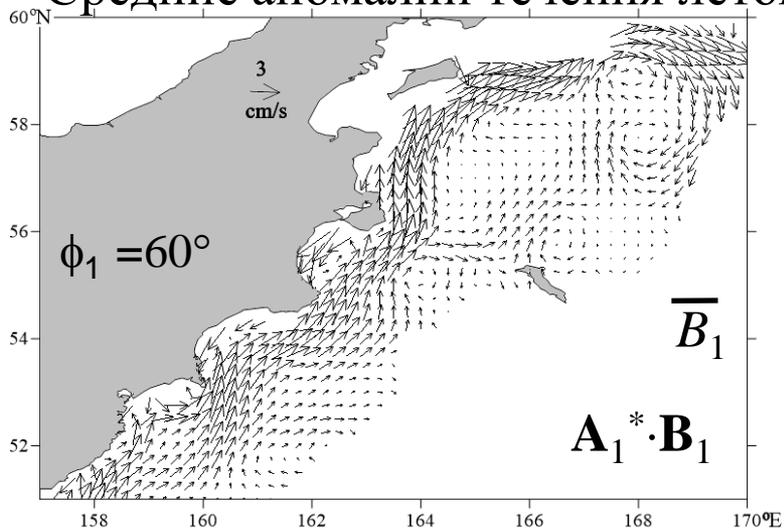


Модуль скорости течения

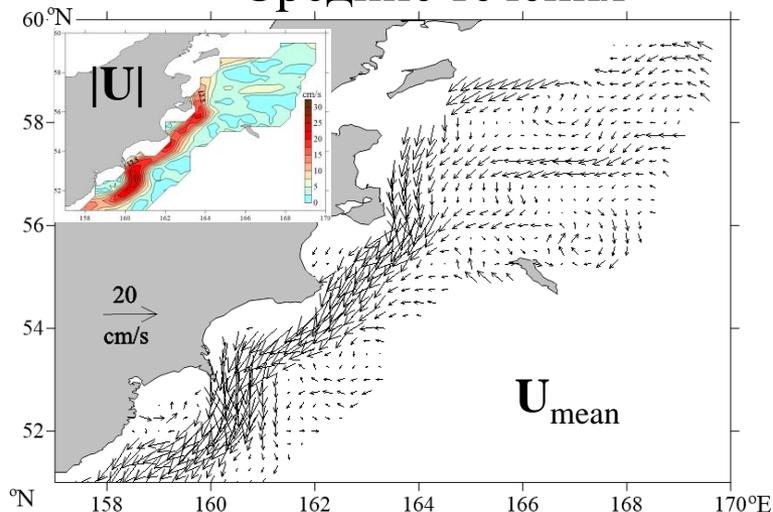


Вклад моды 1 в Камчатское течение для наиболее повторяемой временной фазы ϕ_1 : лето

Средние аномалии течения летом



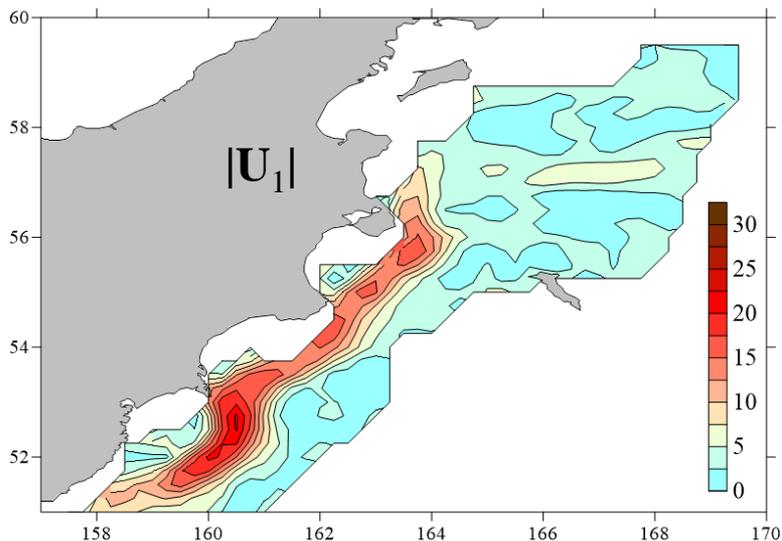
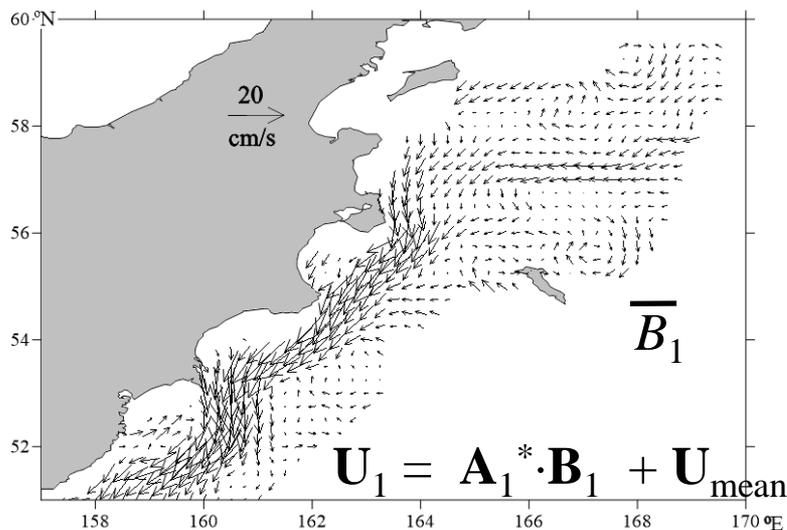
Средние течения



Камчатское течение летом

Для средней B_1

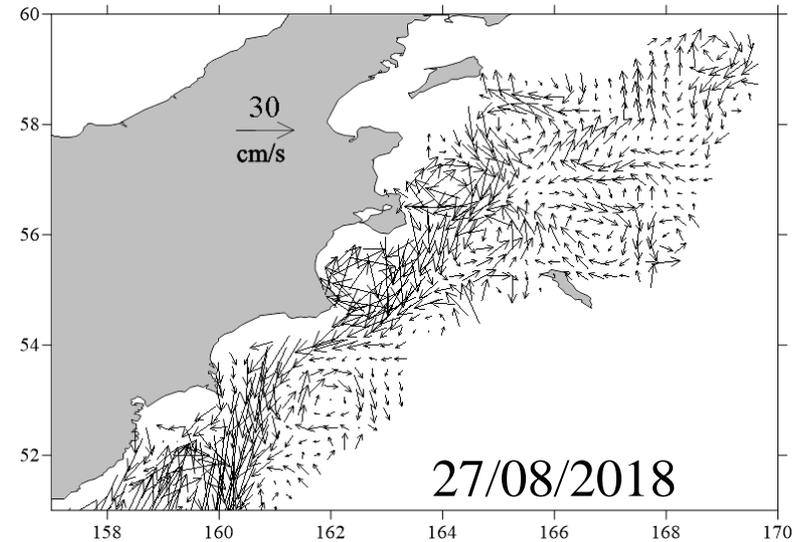
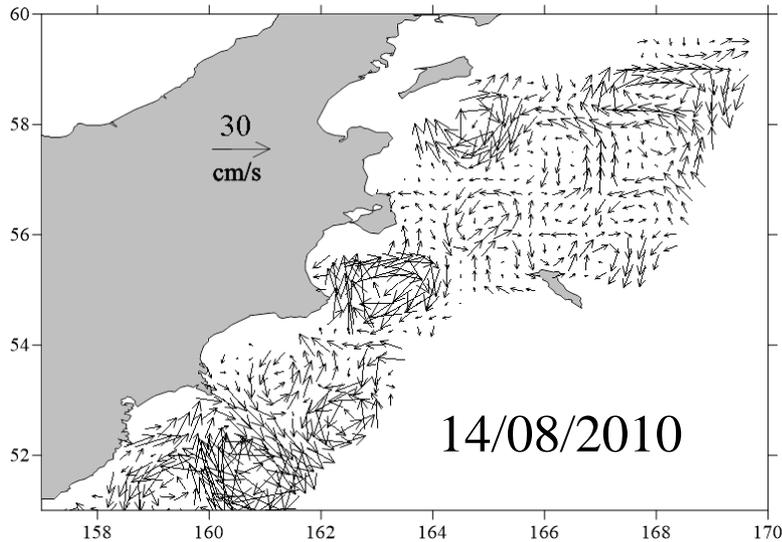
Ослабление



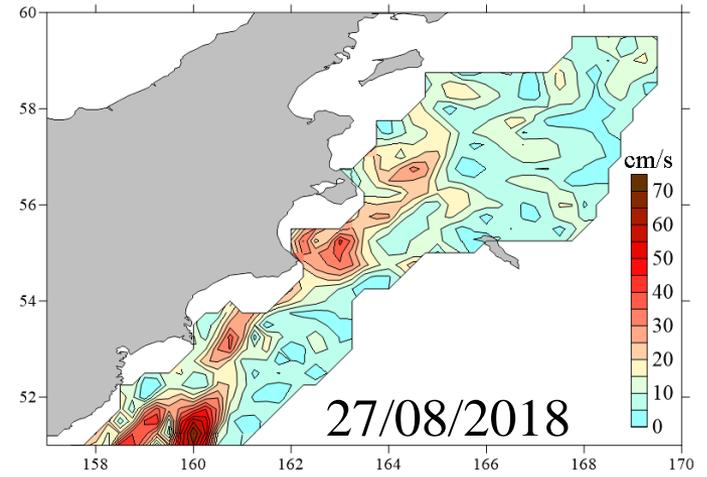
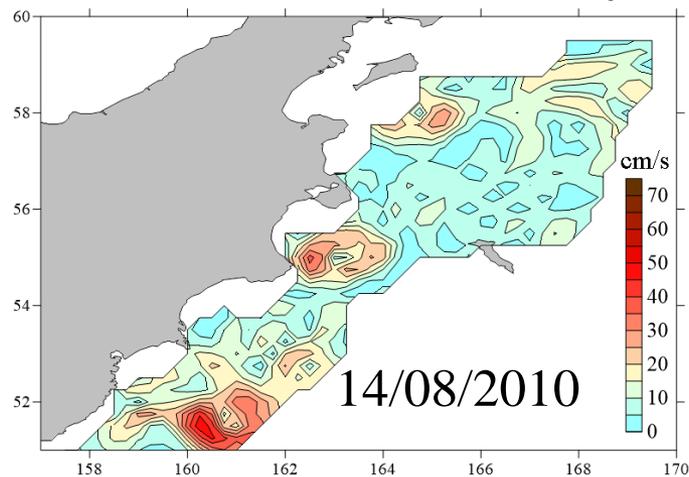
Камчатское течение при сильной и слабой моде 1 (лето)

Сильная мода – **ослабленное** течение

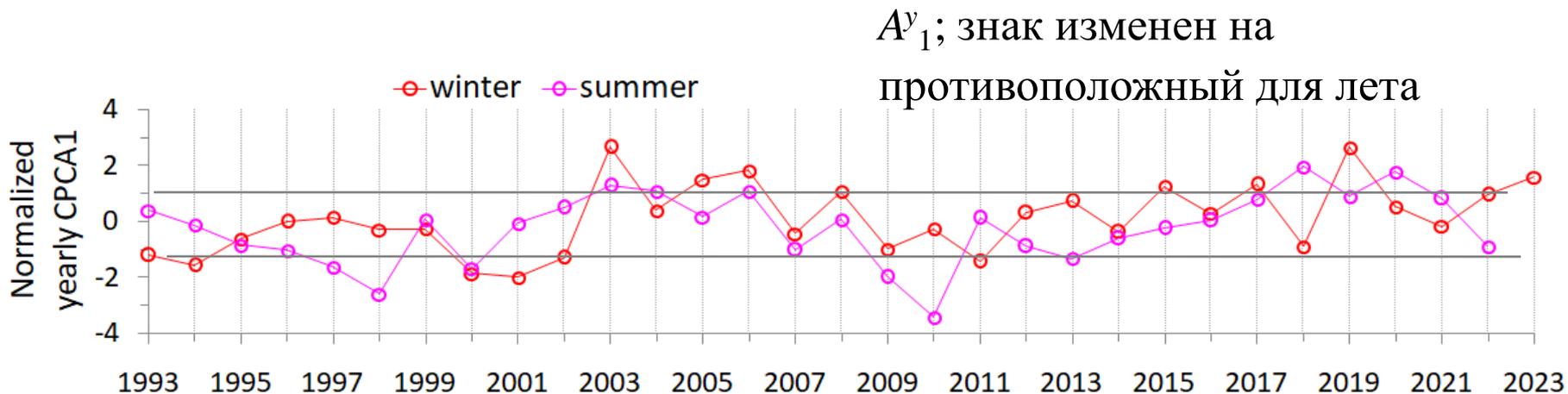
Слабая мода – **интенсивное** течение



Модуль скорости течения



Годы интенсивного и ослабленного течения



A^{y_1} для зимы: A_1 усреднена в декабре – марте;

A^{y_1} для лета: A_1 усреднена в июле – сентябре (**знак изменен**, т.к. сильная мода соответствует ослабленному течению и наоборот).

A^{y_1} нормированы на медиану и среднее отклонение.

Сильная мода: $A^{y_1} > 1$, слабая мода: $A^{y_1} < -1$, $-1 < A^{y_1} < 1$ – «норма».

Интенсивность по годам

Самое интенсивное / самое слабое

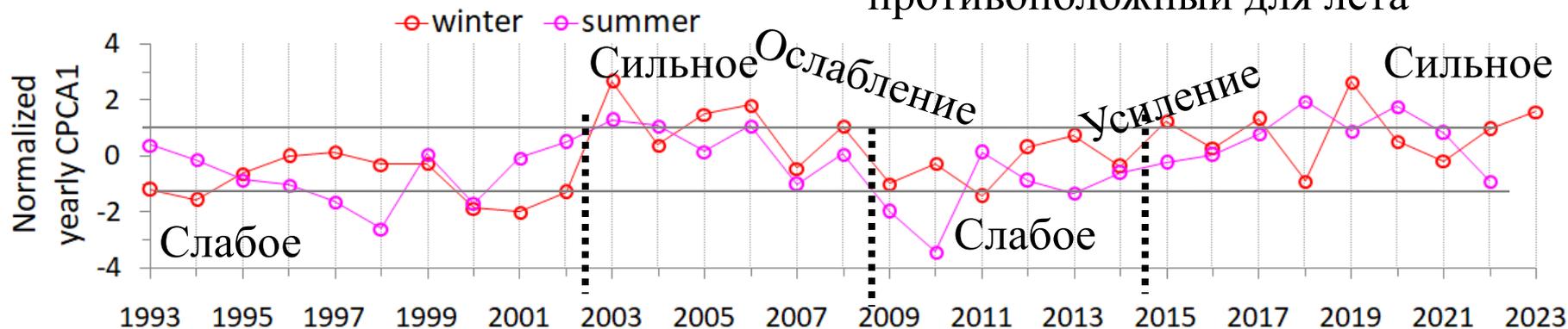
Зимой: 2003, 2019 / 2000 и 2001 гг.

Летом: 2018 / 2010 гг.

Season	Year	
	<i>The strong EKC</i>	<i>The weak EKC</i>
Winter	2003, 2005, 2006, 2008, 2015, 2017, 2019, 2023	1993, 1994, 2000, 2001, 2002, 2011
Summer	2003, 2004, 2006, 2018, 2020	1996, 1997, 1998, 2000, 2007, 2009, 2010, 2013

Годы интенсивного и ослабленного течения

A_y^1 ; знак изменен на
противоположный для лета



Степень интенсивности сохраняется зимой и летом одного года, кроме 1998 и 2010 гг., когда течение было очень слабым летом, нормальным зимой и 2018 г., когда течение было сильным летом и у нижнего предела нормы зимой.

2-3-летняя изменчивость.

Межгодовая изменчивость:

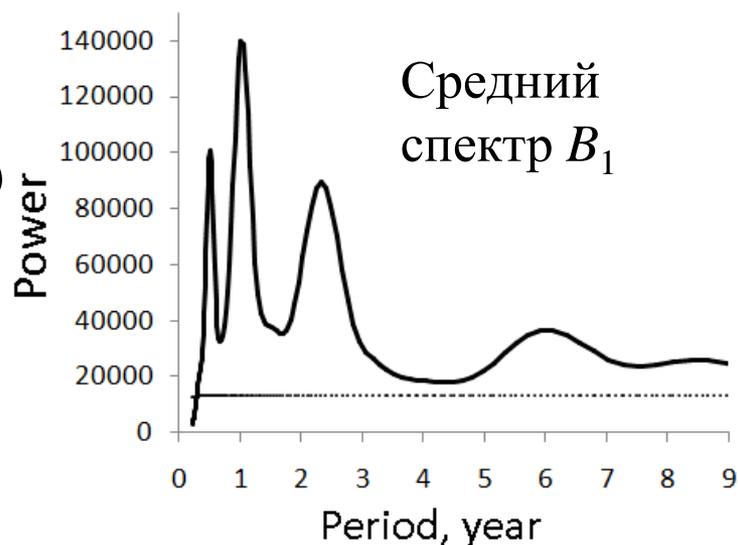
1993–2002 гг.: норм./слабое (также Khen, 2009)

2003–2008: сильное /норм. (также Khen, 2009);

2009–2014: в основном, нормальное;

2015–2023: нормальное /сильное.

Цикличность 15-16 гг. (качественный анализ)



Выводы

- КЭОФ мода 1, основанная на аномалиях векторов скорости Камчатского течения, интенсифицируется дважды в год: зимой с декабря по март и летом с июля по сентябрь.
- Зимний максимум соответствует юго-западным аномалиям потока, т.е. интенсификации течения в годы «сильной» моды, особенно в 2003 и 2019 гг.
- Летний максимум соответствует северо-восточным аномалиям потока, т.е. ослаблению течения в годы «сильной» моды, особенно в 1998 и 2010 гг., когда оно разбивалось на систему вихрей; в годы слабого летнего максимума течение интенсифицировалось, особенно в 2018 г.
- В целом, степень интенсивности течения сохранялась в течение года, однако в 1998 и 2010 гг. течение было очень слабым летом, но нормальным зимой, а в 2018 г. течение было сильным летом, но у нижней границы нормы зимой.
- Интенсивность течения изменяется на квазидвухлетнем и 6-летнем временных масштабах, а также на масштабе 15-16 лет.