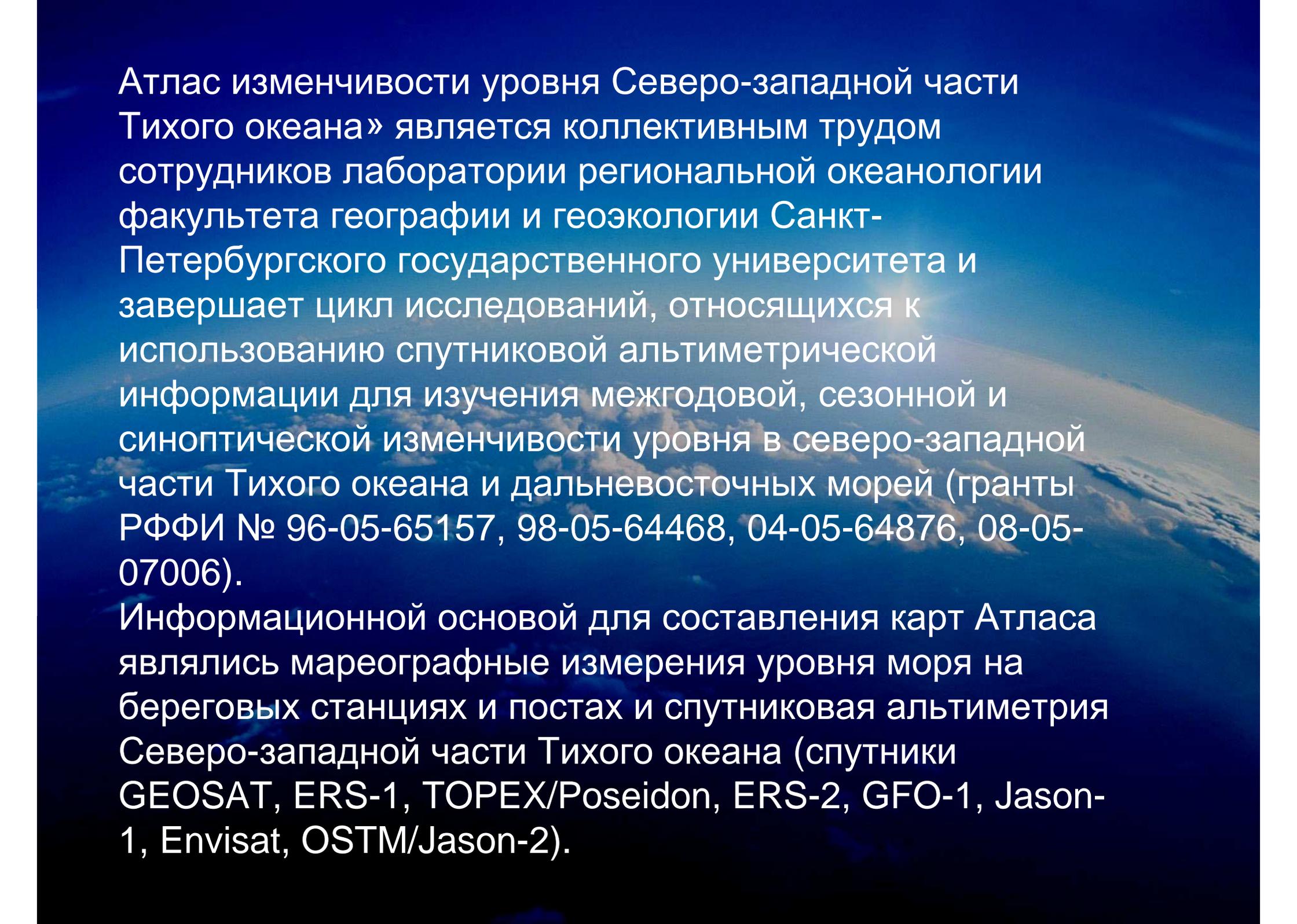




Санкт-Петербургский государственный университет
**Лаборатория региональной
океанологии**

Атлас изменчивости северо- западной части Тихого океана на основе спутниковой альтиметрической информации

Белоненко Т.В., Фукс В.Р.



Атлас изменчивости уровня Северо-западной части Тихого океана» является коллективным трудом сотрудников лаборатории региональной океанологии факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета и завершает цикл исследований, относящихся к использованию спутниковой альтиметрической информации для изучения межгодовой, сезонной и синоптической изменчивости уровня в северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей (гранты РФФИ № 96-05-65157, 98-05-64468, 04-05-64876, 08-05-07006).

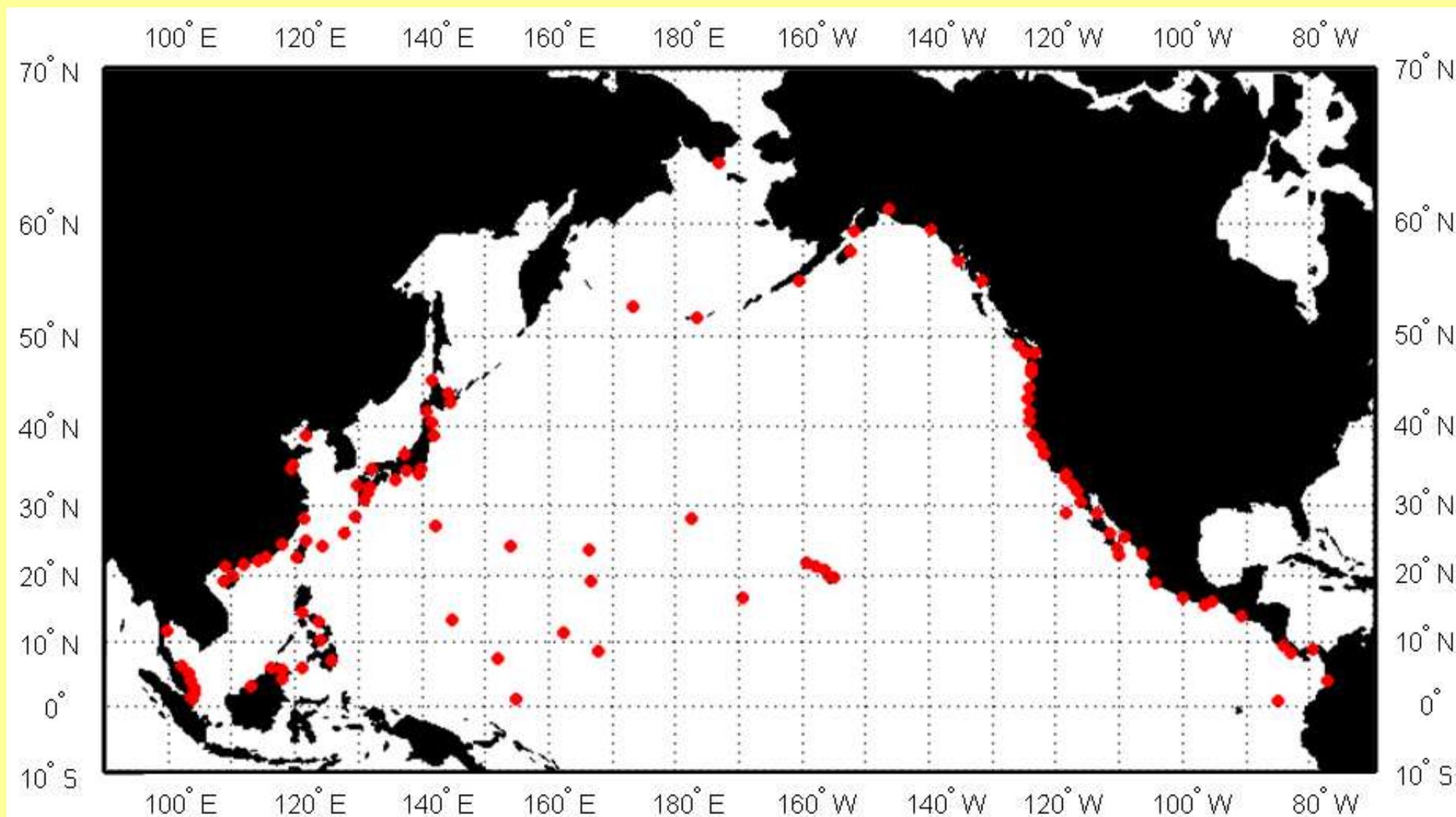
Информационной основой для составления карт Атласа являлись мареографные измерения уровня моря на береговых станциях и постах и спутниковая альтиметрия Северо-западной части Тихого океана (спутники GEOSAT, ERS-1, TOPEX/Poseidon, ERS-2, GFO-1, Jason-1, Envisat, OSTM/Jason-2).

Колебания уровня океана представляют собой сумму эвстатических, динамических, стерических составляющих и колебаний уровня, связанных с изменениями водного баланса. К эвстатической компоненте относятся составляющие, вызываемые изменением объема океанических впадин за счет тектонических процессов. Характерное время таких изменений составляют геологические эпохи. Динамические изменения уровня вызываются, прежде всего, пространственными неоднородностями полей течений. Стерические колебания обусловлены изменениями плотности морской воды за счет соответствующих изменений ее температуры и солености. Изменения водного и ледового балансов происходят вследствие образования и таяния покровных (в том числе шельфовых) ледников, а также испарения, осадков, стока материковых вод и т.д.

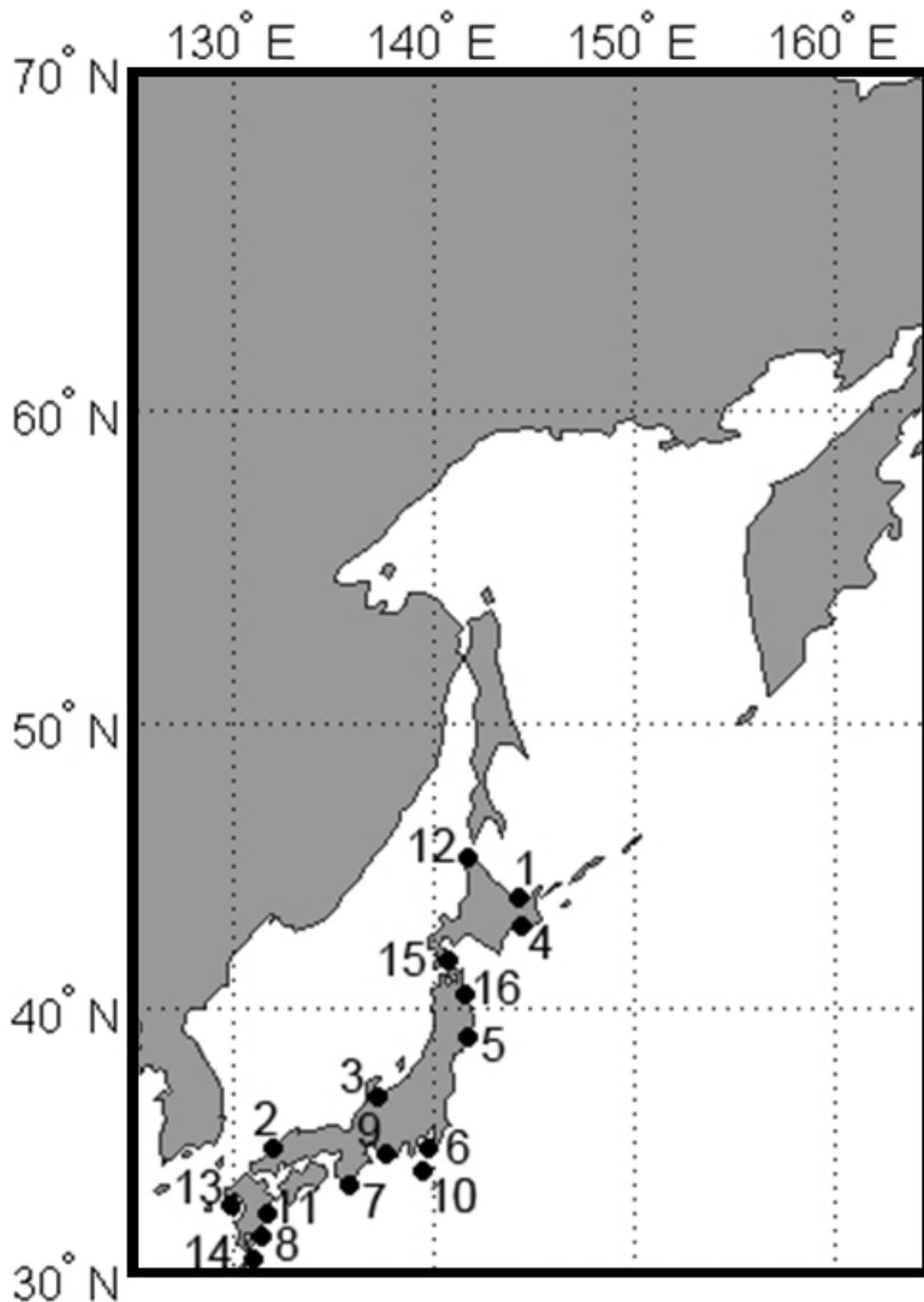
Существуют два принципиально различных метода наблюдений за морским уровнем: во-первых, береговые футшточные или мареографные измерения уровня, по которым имеются длительные ряды наблюдений, именно на этих материалах основаны современные представления об его изменчивости уровня океана

Центр уровня моря Гавайского университета (UHSLC) предоставляет свободный доступ к архиву данных наблюдений за уровнем на мареографных станциях. Данные среднемесячных, среднесуточных и ежечасных измерений уровня моря на береговых станциях северной части Тихого океана опубликованы и постоянно пополняются на Интернет сайте: <http://ilikai.soest.hawaii.edu>. Архив данных JASL собирает ежечасные данные от региональных и национальных сетей наблюдения за уровнем моря. Данные проверяются и исправляются очевидные ошибки, такие как выбросы и сдвиги во времени. Продолжительность рядов в разных пунктах различна, некоторые ряды имеют значительные пропуски, связанные с различного рода причинами. Пропуски, не превышающие 25 часов, интерполируются. Количество более продолжительных пропусков можно узнать из показателя полноты ряда (Completeness index - CI), представляющего собой процентное соотношение количества имеющихся данных к общей длине ряда, включающего в себя и пропуски.

Схема расположения мареографных пунктов массива JASL



Массив используемых в «Атласе...» данных включает в себя среднемесячные значения уровня моря, измеренные на 130 береговых постах JASL с продолжительностью наблюдений до 100 лет.



Мареографные станции JASL Северо-западной части Тихого океана

Наблюдения на мареографных станциях имеют значительно бо́льшую продолжительность, чем ряды альтиметрических наблюдений, чья история начинается с запуска спутника Торех/Poseidon в 1992 году.

Спутниковая альтиметрия.

**Торех/Poseidon (1992),
Затем ERS-2 (1995),
GFO-1 (GEOSAT Follow On) (1998),
Jason-1 (2001),
Envisat (2002),
OSTM/Jason-2 (2008).**

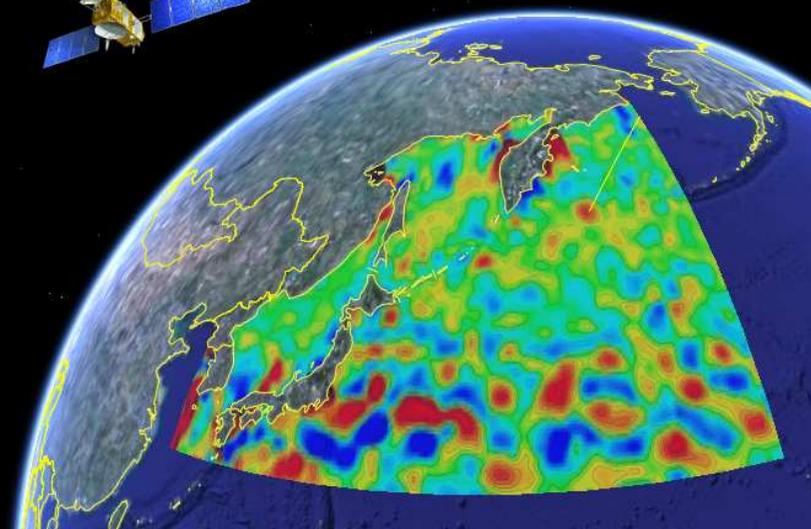
Опубликовано в 2009 г. Грант РФФИ № 08-05-07006.

Эта книга обобщает результаты многолетних исследований авторов по проблеме изменчивости уровня Северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей (Японского, Охотского и Берингова). Поставленная цель – исследование межгодовой, сезонной и синоптической изменчивости уровня на основе спутниковой альтиметрической информации – достигалась путем решения следующих задач: оценка изменчивости статистических характеристик уровня океана; оценка сравнительного вклада в изменчивость уровня океана межгодовых, сезонных и синоптических колебаний; разработка термодинамических основ анализа альтиметрических измерений; выделение стерических колебаний уровня океана и оценка их вклада в межгодовую и сезонную изменчивость уровня океана; описание зависимости колебаний уровня от гидрометеорологических условий; волновая интерпретация синоптической изменчивости колебаний уровня океана.

Разработаны термодинамические основы интерпретации альтиметрических съемок океана. Теоретически обоснована методика кинематического анализа вдольтрековых альтиметрических измерений. С помощью вейвлет-анализа исследованы нелинейные эффекты, определяющие потоки энергии от сезонной изменчивости уровня моря к межгодовой изменчивости. Дана оценка вклада стерических колебаний в изменчивость уровня моря. На основе Принстонской океанской модели (POM), модифицированной для дальневосточных морей, проведено численное моделирование изменчивости уровня и течений Японского, Охотского и Берингова морей.

Т.В. Белоненко, В.В. Колдунов, Д.К. Старицын,
В.Р. Фукс, И.О. Шилов

Изменчивость уровня Северо-западной части Тихого океана



Т.В. Белоненко, В.В. Колдунов,
Д.К. Старицын, В.Р. Фукс,
И.О. Шилов

Изменчивость уровня
Северо-западной части Тихого океана

Санкт-Петербургский государственный университет

Белоненко Т.В.,
Колдунов А.В.,
Колдунов В.В.,
Май Р.И.,
Рубченя А.В.,
Старицын Д.К.,
Фукс В.Р.

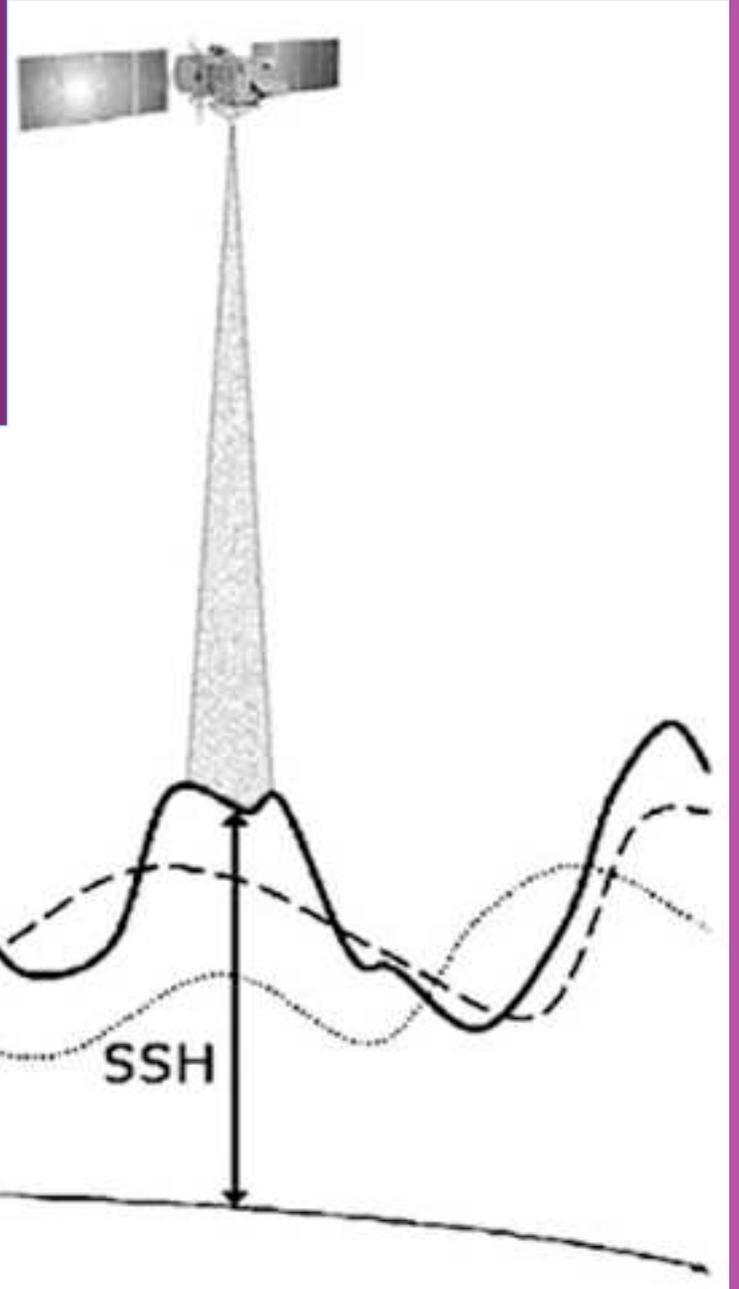
АТЛАС

ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ Тихого океана

Санкт-Петербург
2011

Альтиметрические данные SLA

аномалии уровня моря относительно модели CLS01 со спутников Jason, TOPEX/Poseidon, ENVISAT, GFO-1, ERS1/2, GEOSAT, интерполированные в узлы сетки с шагом $1/3^\circ$ на $1/3^\circ$.



$$SLA = SSH - MSSH$$

$$MDT = MSSH - h_{\text{geoid}}$$

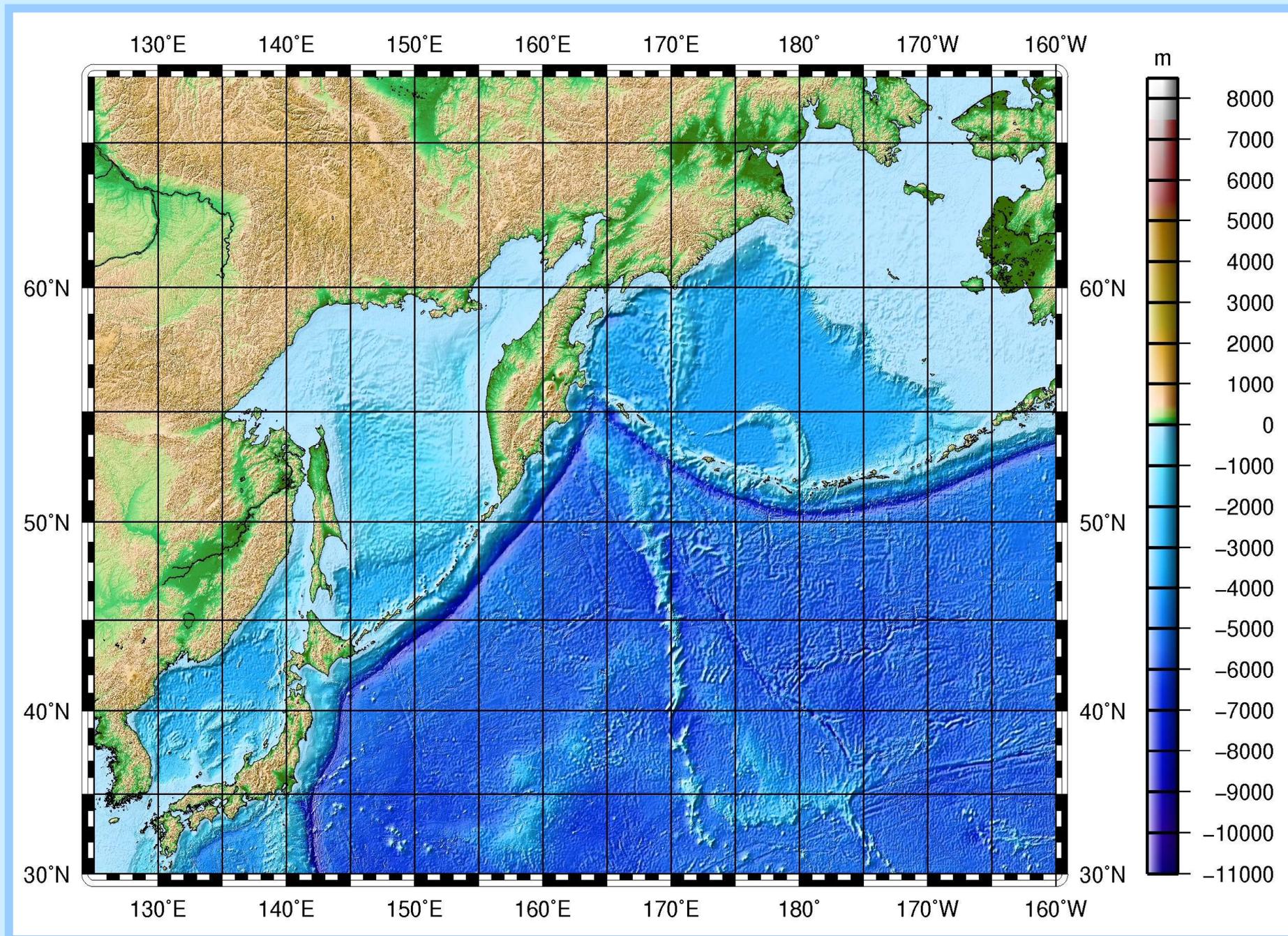
$$ADT = SLA + MDT$$

Атлас изменчивости уровня Северо-западной части Тихого океана

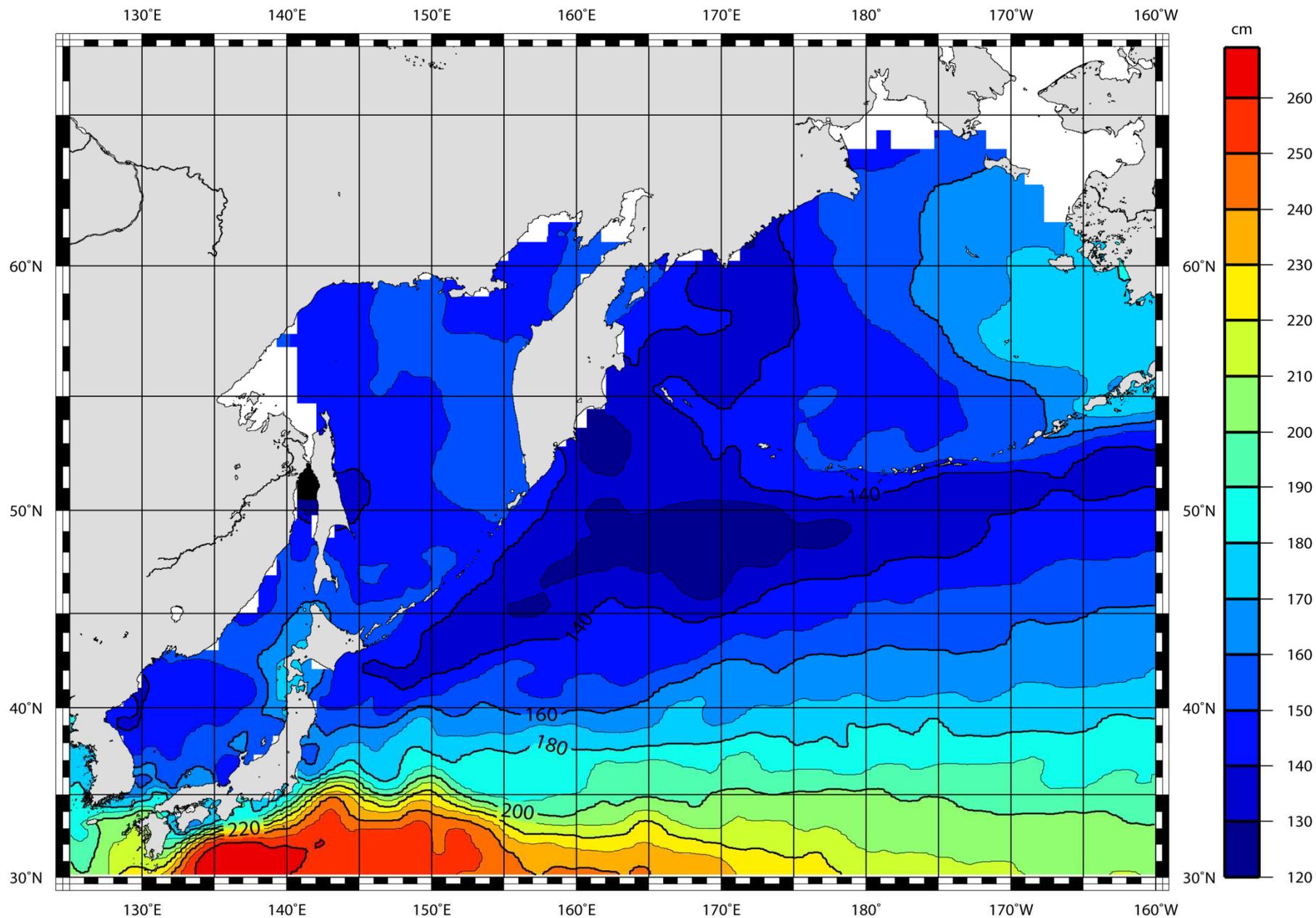
Введение.

1. Гидрографическое описание района. Вдольтрековые спутниковые измерения.
 - 1.1. Батиметрическая карта района.
 - 1.2. Основные спутниковые треки.
 - 1.3. Вдольтрековые изоплеты уровня моря.

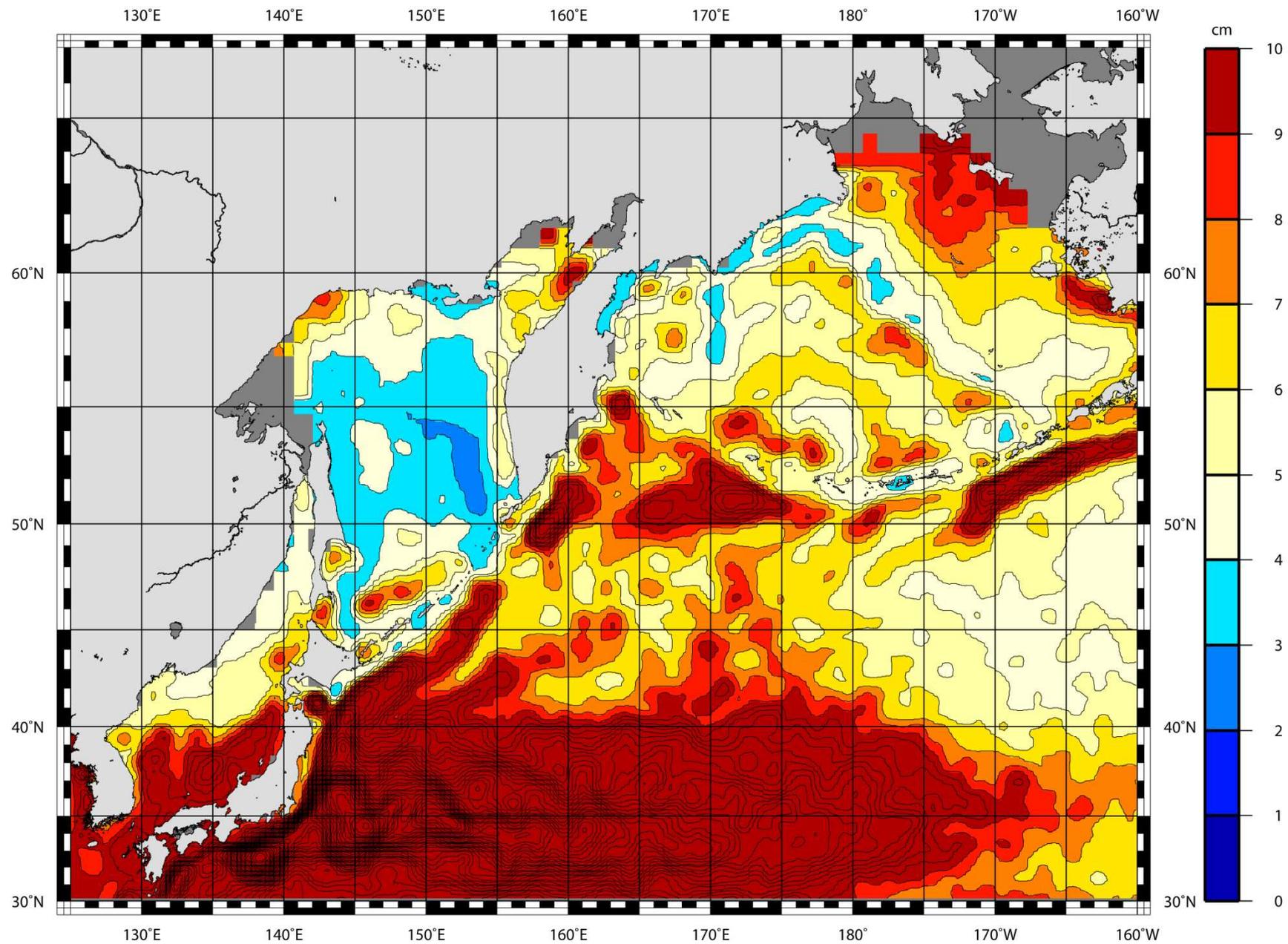
2. Динамическая топография поверхности моря (осреднение за 1992 – 2007 гг.)
 - 2.1. Математическое ожидание абсолютной динамической топографии поверхности моря.
 - 2.2. Среднеквадратическое отклонение от среднегодовых значений абсолютной динамической топографии поверхности моря.
 - 2.3. Коэффициент вариации среднегодовых значений абсолютной динамической топографии поверхности моря.
 - 2.4. Среднегодовая дивергенция полных потоков.



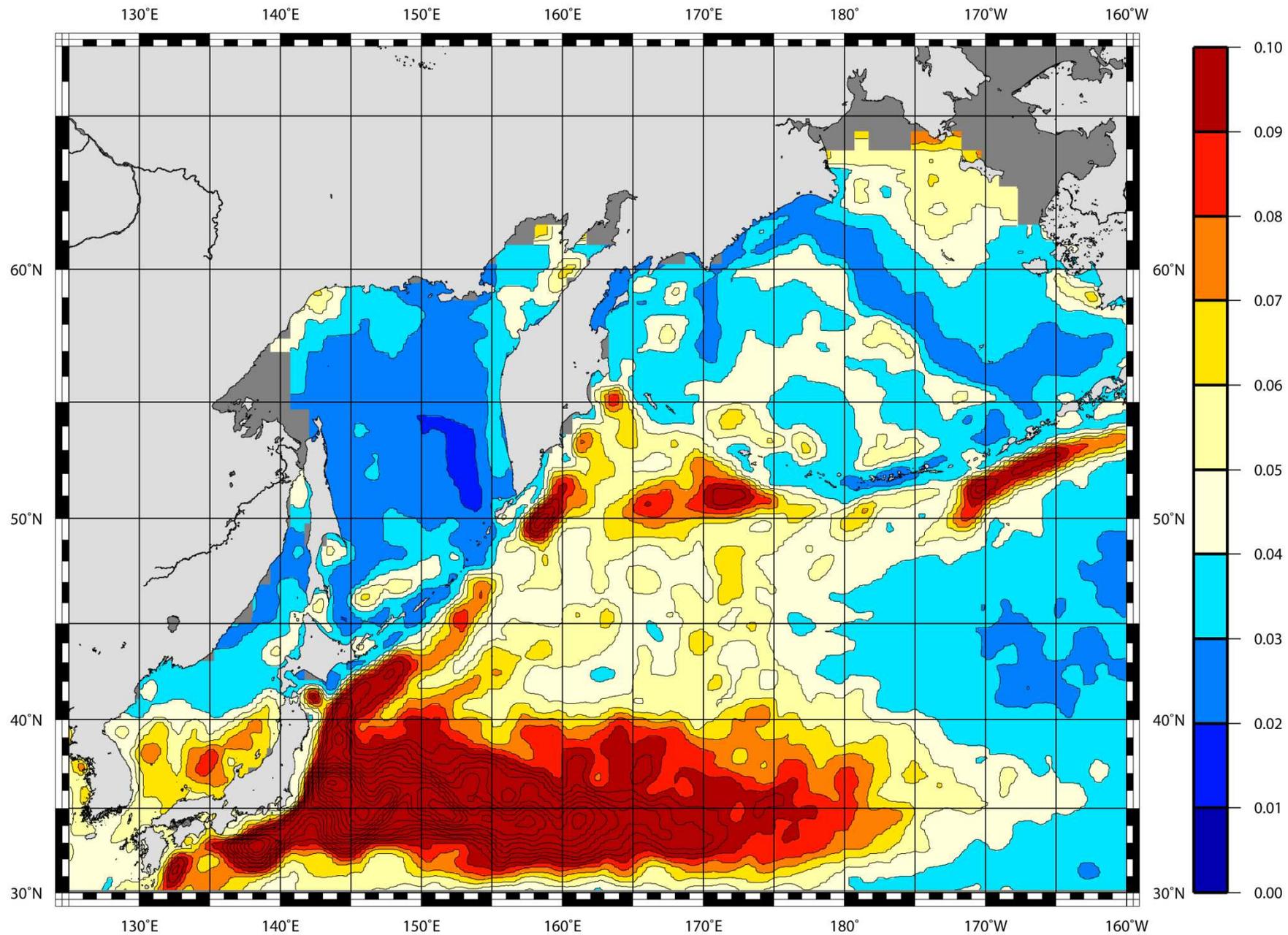
Батиметрическая карта района



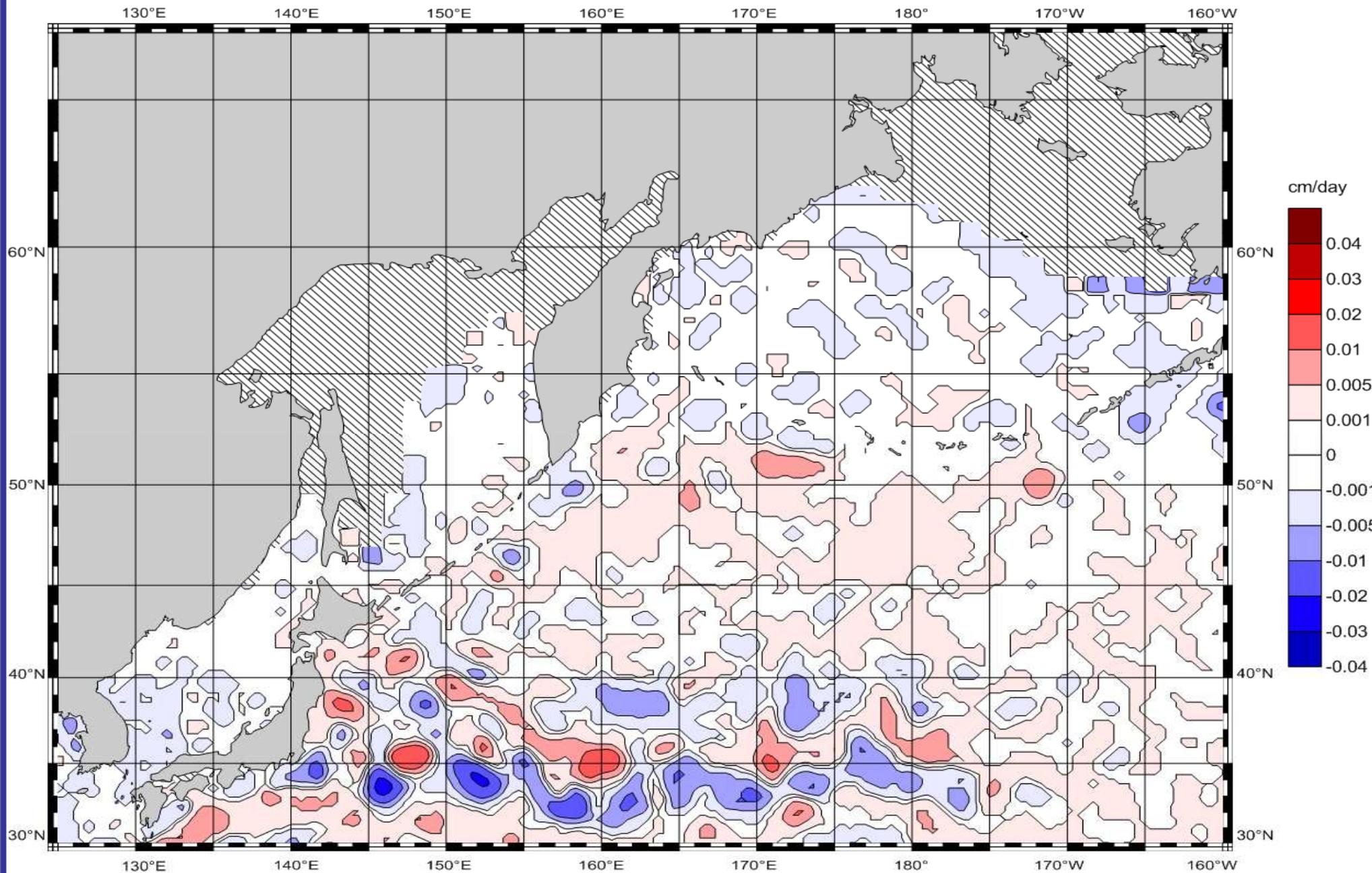
Математическое ожидание абсолютной динамической топографии поверхности моря



Среднеквадратическое отклонение от среднемноголетних значений абсолютной динамической топографии поверхности моря



Коэффициент вариации среднемноголетних значений абсолютной динамической топографии поверхности моря



Среднеголетняя дивергенция полных потоков

Дивергенция полных потоков рассчитывается по скорости изменения уровня $\frac{\partial \xi}{\partial t}$

Из уравнения неразрывности массы, проинтегрированного от поверхности моря до дна $z = H(x, y)$ (пренебрегаем пресным балансом)

Получим (Фукс, 2003):

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\operatorname{div} \vec{V} H - \int_0^H \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} dz$$

\bar{V} - средняя по вертикали скорость течения ,

H – глубина моря,

$\vec{V}H$ полный поток.

Первое слагаемое в правой части этого уравнения имеет смысл скорости

за счет динамического изменения уровня, а второе слагаемое характеризует скорость стерического изменения уровня моря .

В условиях, когда стерические эффекты малы

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\operatorname{div} \vec{V} H$$

Если дивергенция полного потока положительна, происходит понижение уровня моря, когда она отрицательна, уровень повышается.

Для постоянной глубины уравнение неразрывности этой системы можно записать в виде :

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -H \cdot \operatorname{div} \vec{V}$$

где $\operatorname{div} \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$ - дивергенция скорости течения \vec{V}

\vec{V} - проинтегрированный по глубине средний по вертикали вектор скорости течения .

При дивергенции полных потоков $\text{div} \vec{V} H > 0$

уровень моря понижается и формируется зона, в которой происходит опускание вод на глубину (даунвеллинг), способствующая скоплению кормового планктона.

При конвергенции полных потоков $\text{div} \vec{V} H < 0$

уровень моря повышается и формируется зона, где происходит подъем к поверхности вод с глубины (апвеллинг). В таких зонах отмечается подъем к поверхности богатых биогенными элементами глубинных вод (апвеллинг) и усиление первичного продуцирования.

3. Динамическая топография поверхности (годовое осреднение).

3.1. Уровень моря на мареографных постах с годовым осреднением.

3.2. Среднегодовая топография поверхности океана.

3.3. Тренды в уровне моря.

3.3.1. Тренды уровня моря в реперных мареографных пунктах.

3.3.2. Тренды уровня моря по данным спутниковых альтиметрических измерений.

3.4. Среднеквадратическое отклонение динамической топографии при годовом осреднении.

3.5. Среднегодовая дивергенция полных потоков.

4. Месячное осреднение динамической топографии поверхности моря.

4.1. Среднемесячный уровень моря на мареографных постах.

4.1.1. Средне многолетний сезонный ход уровня моря.

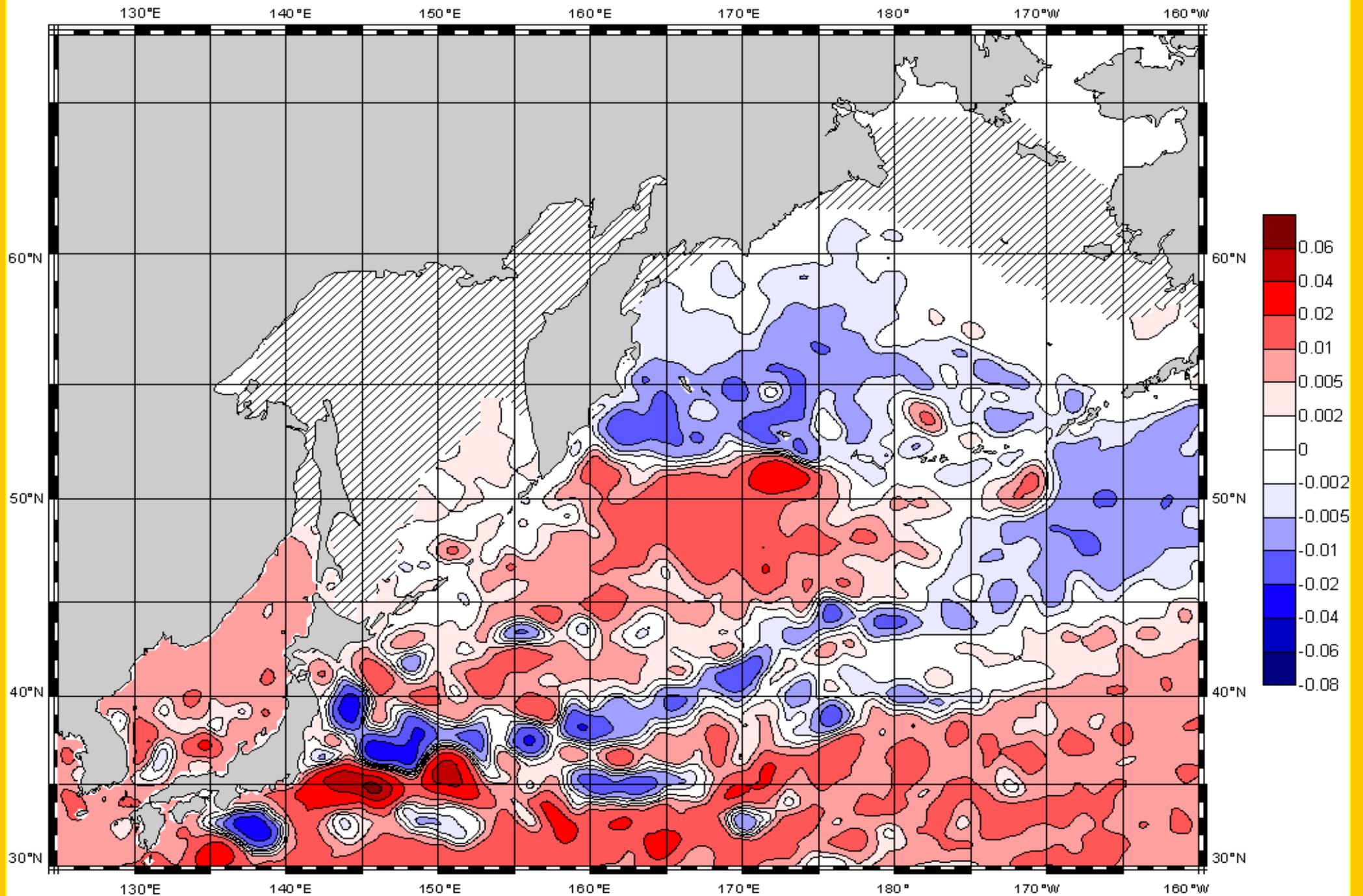
4.1.2. Спектральный и вейвлет-анализ колебаний уровня на мареографных постах.

4.1.3. Вейвлет-изображения динамической топографии поверхности моря в отдельных пунктах региона.

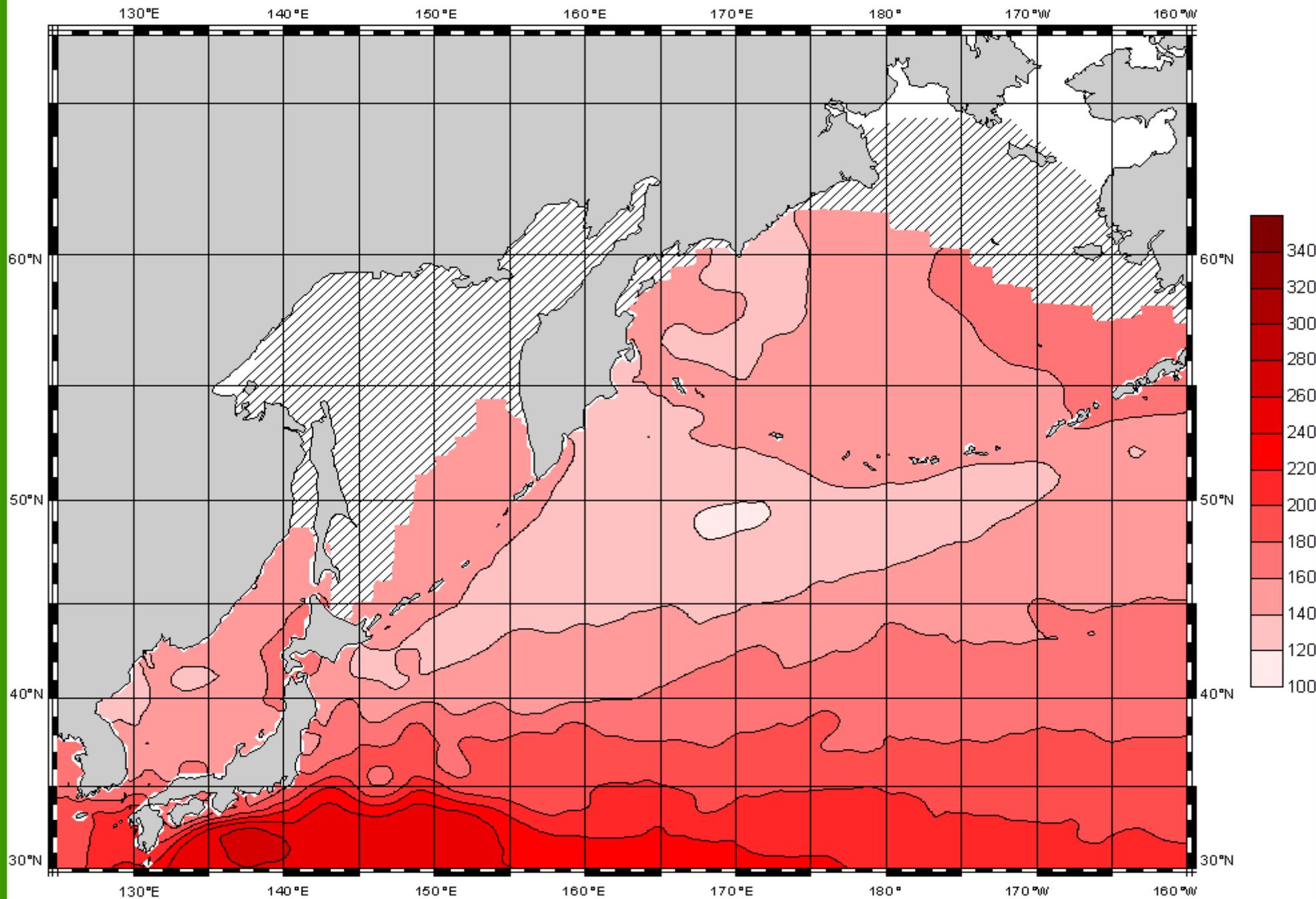
4.2. Средне многолетние месячные значения абсолютной динамической топографии поверхности моря.

4.3. Среднеквадратическое отклонение средне многолетних месячных значений динамической топографии поверхности моря.

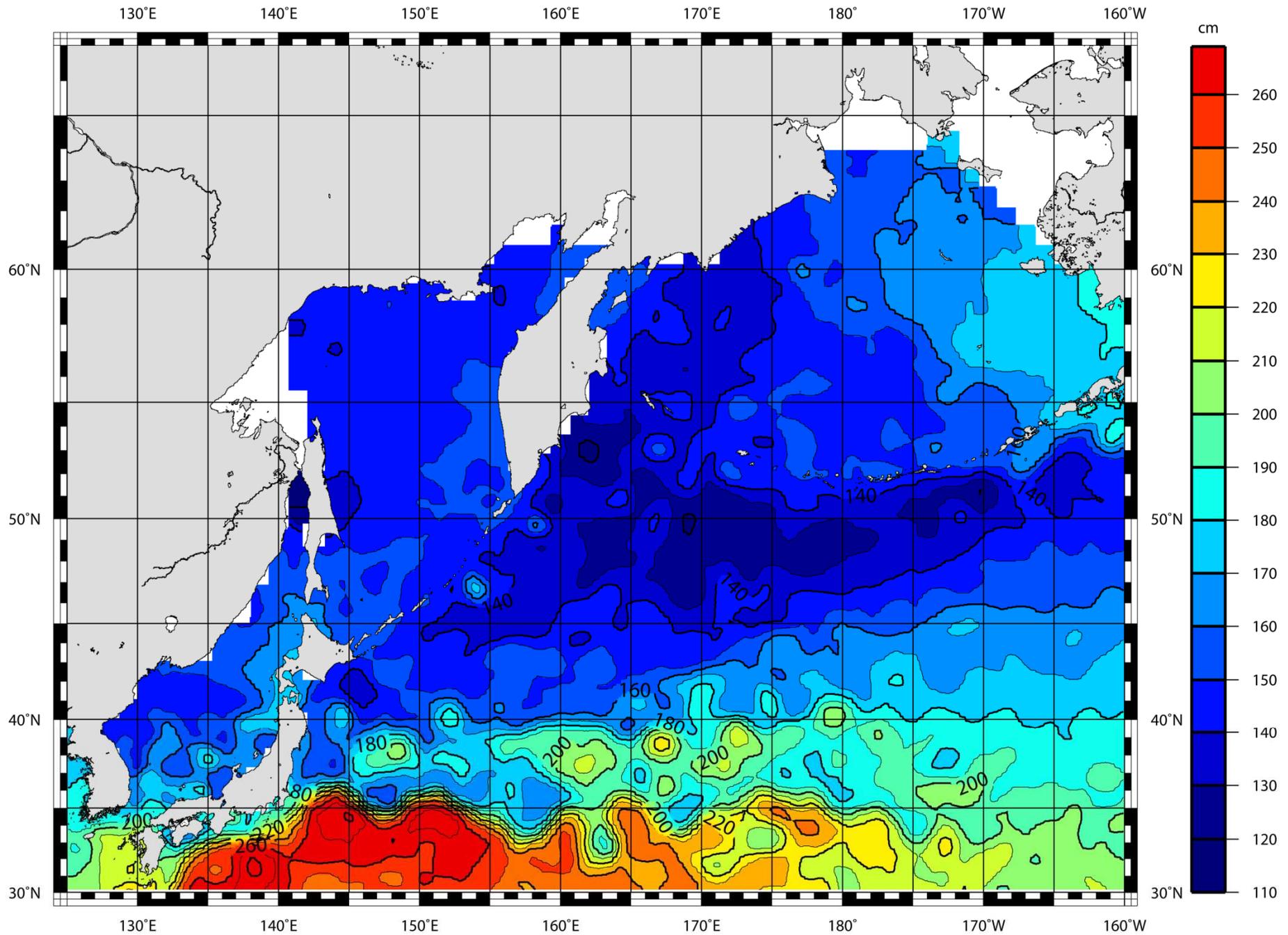
4.4. Сезонные изменения дивергенции полных потоков.



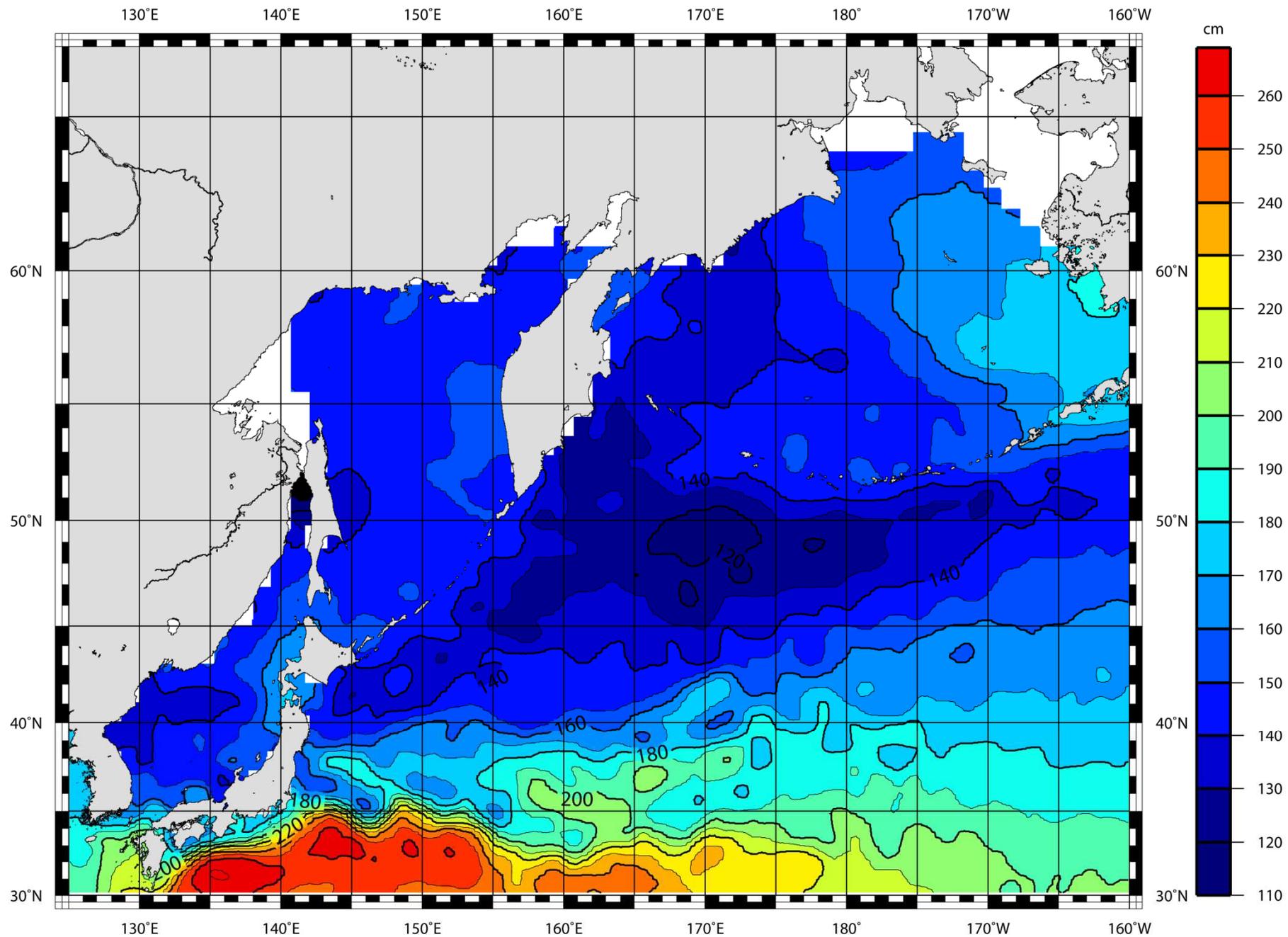
Распределение оценки коэффициента “ b ” (см/нед) линейного тренда
уровня $\xi = b t + c$.



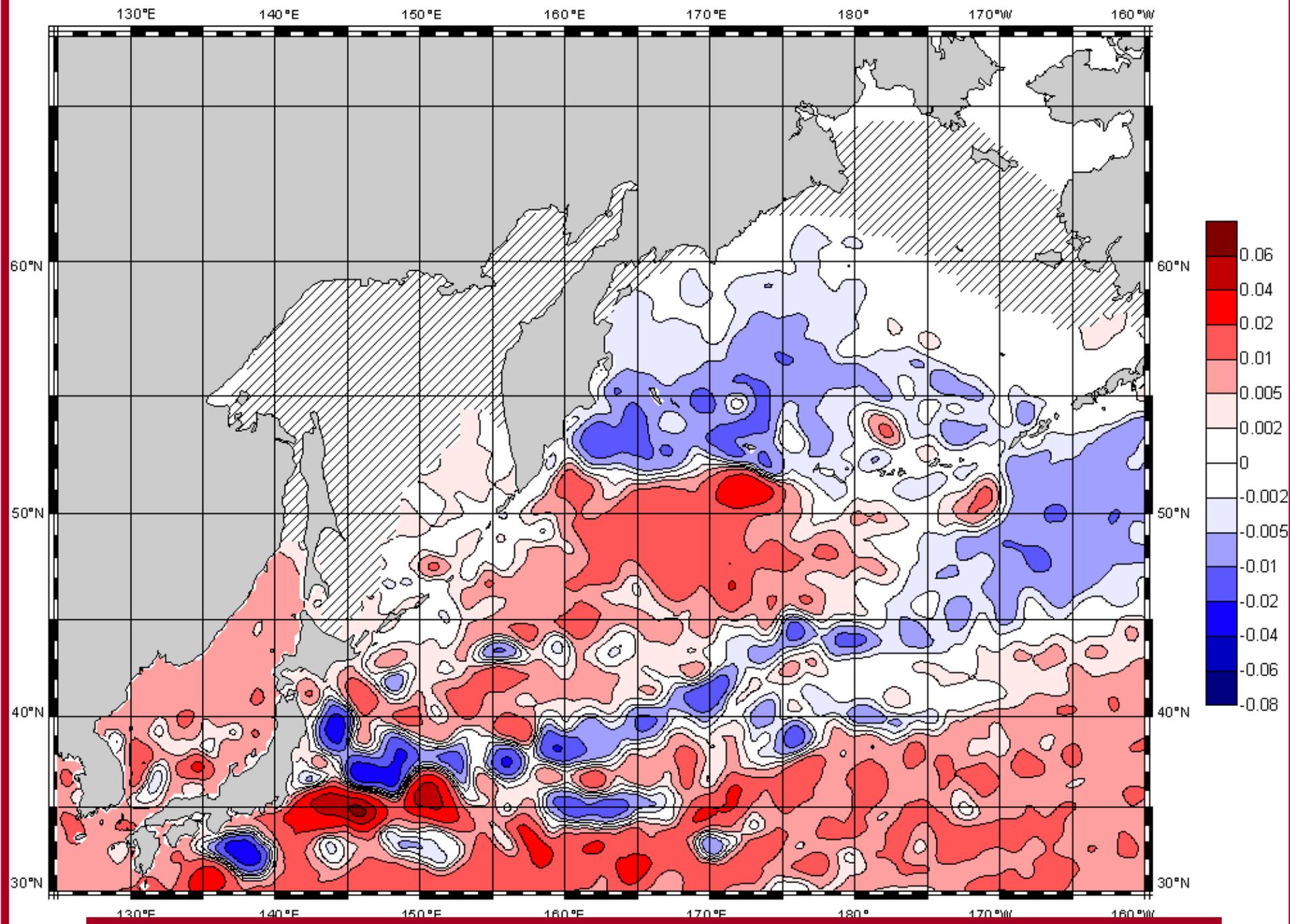
**Распределение оценки коэффициента “с” (см) линейного тренда
уровня $\xi = b t + c$.**



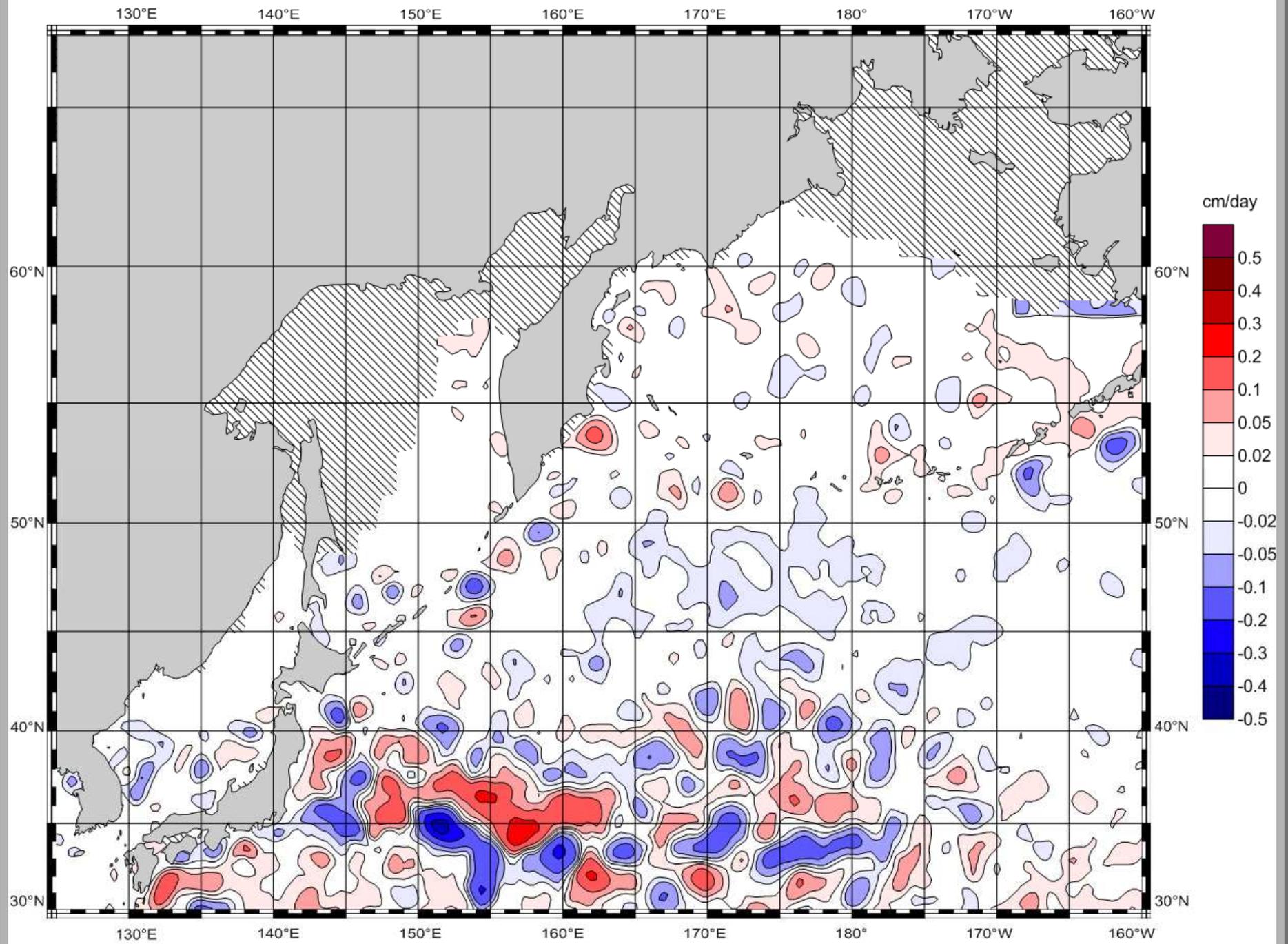
Среднегодовая топография поверхности океана : 1992



Среднегодовая топография поверхности океана : 1993



Среднеквадратическое отклонение динамической топографии при годовом осреднении: 1993

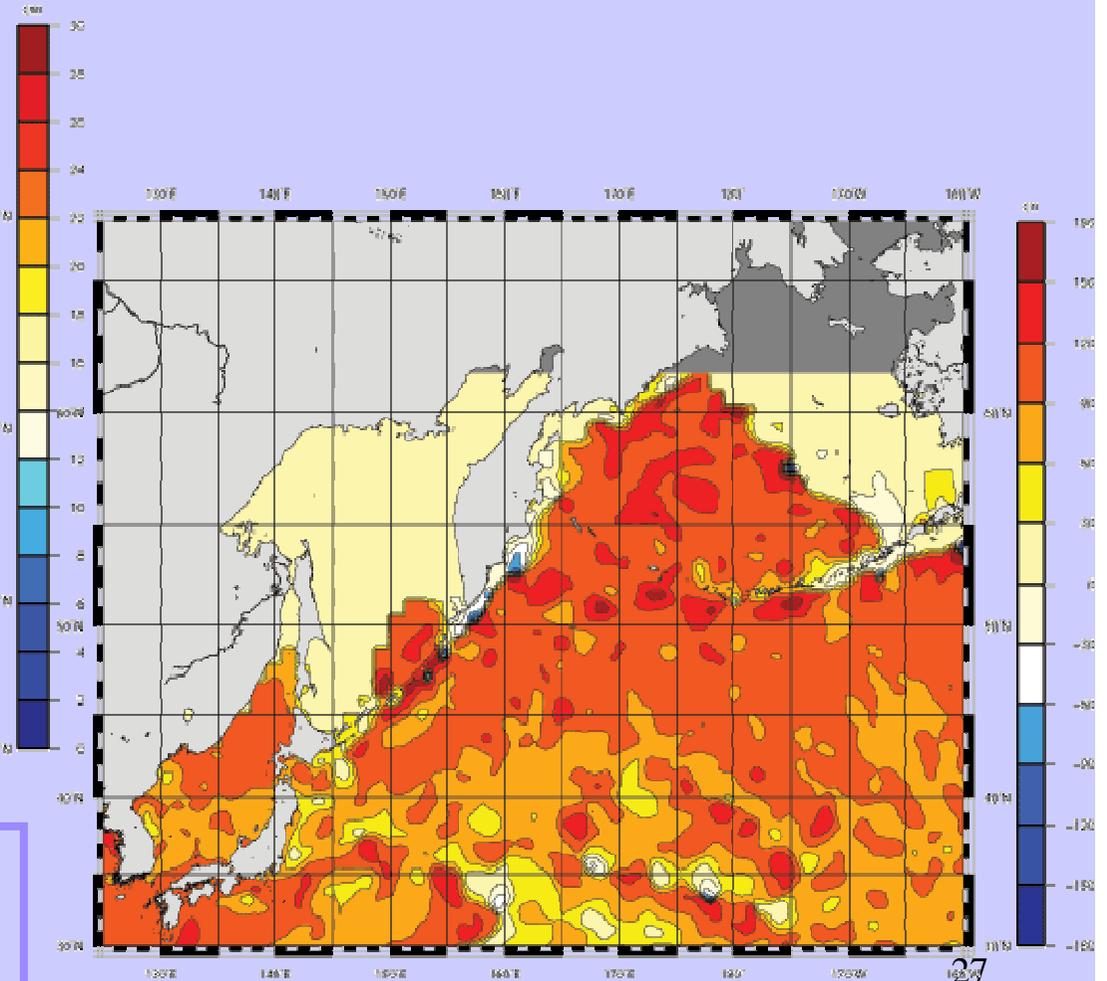
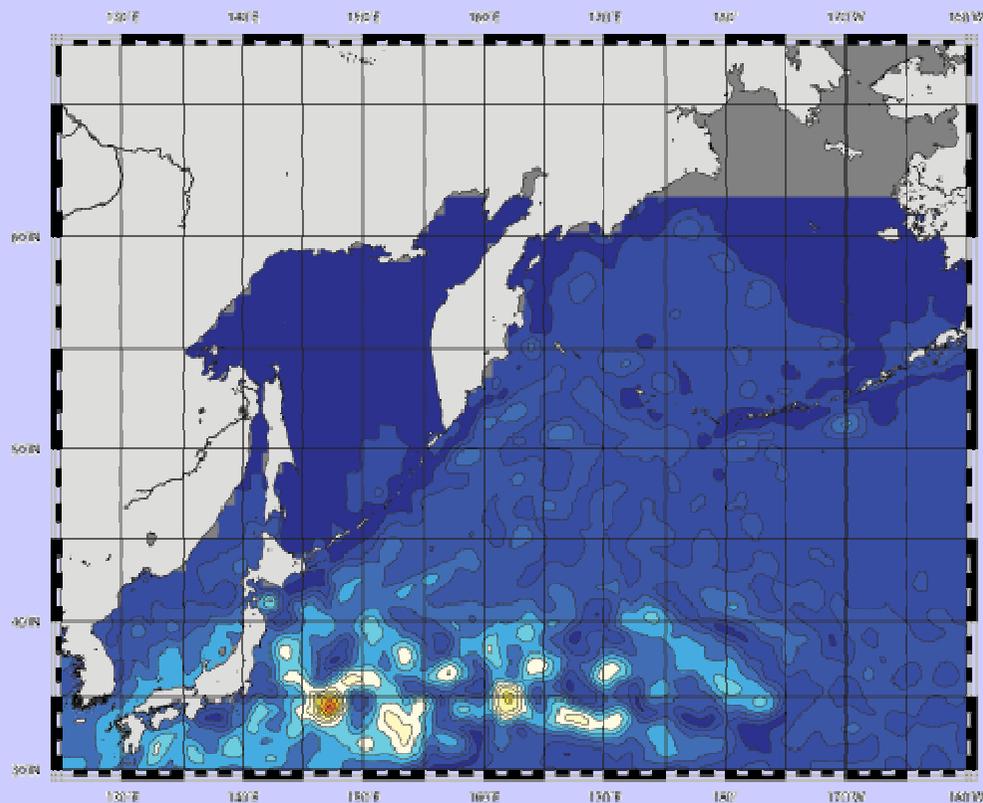


Среднегодовая дивергенция полных потоков : 1993

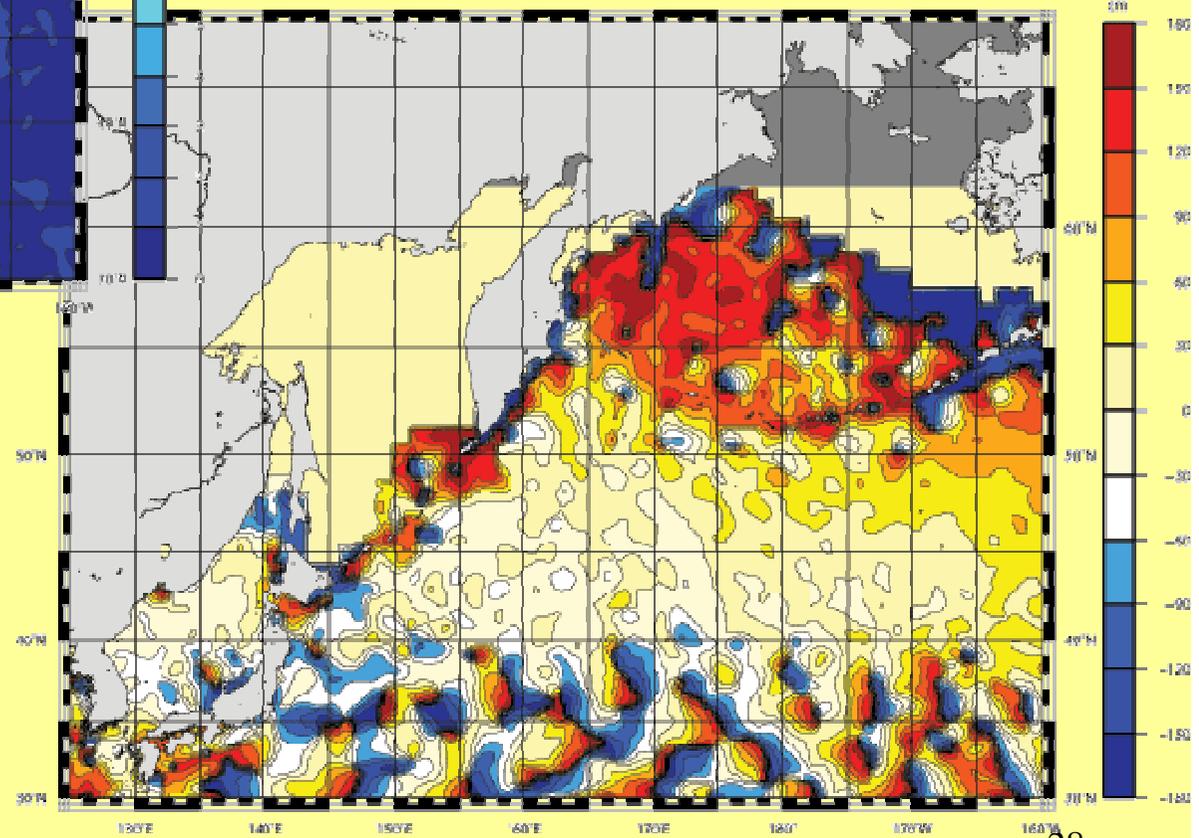
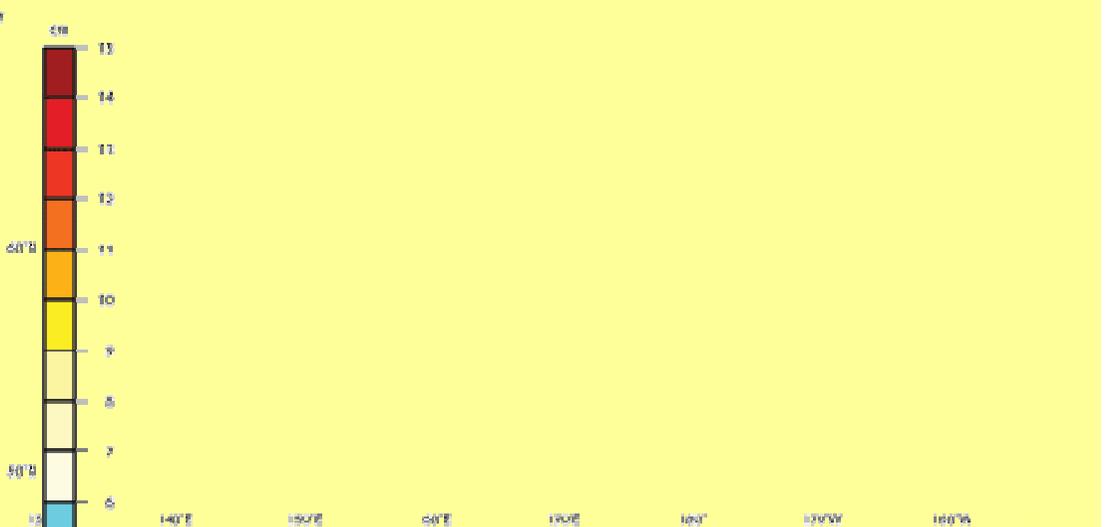
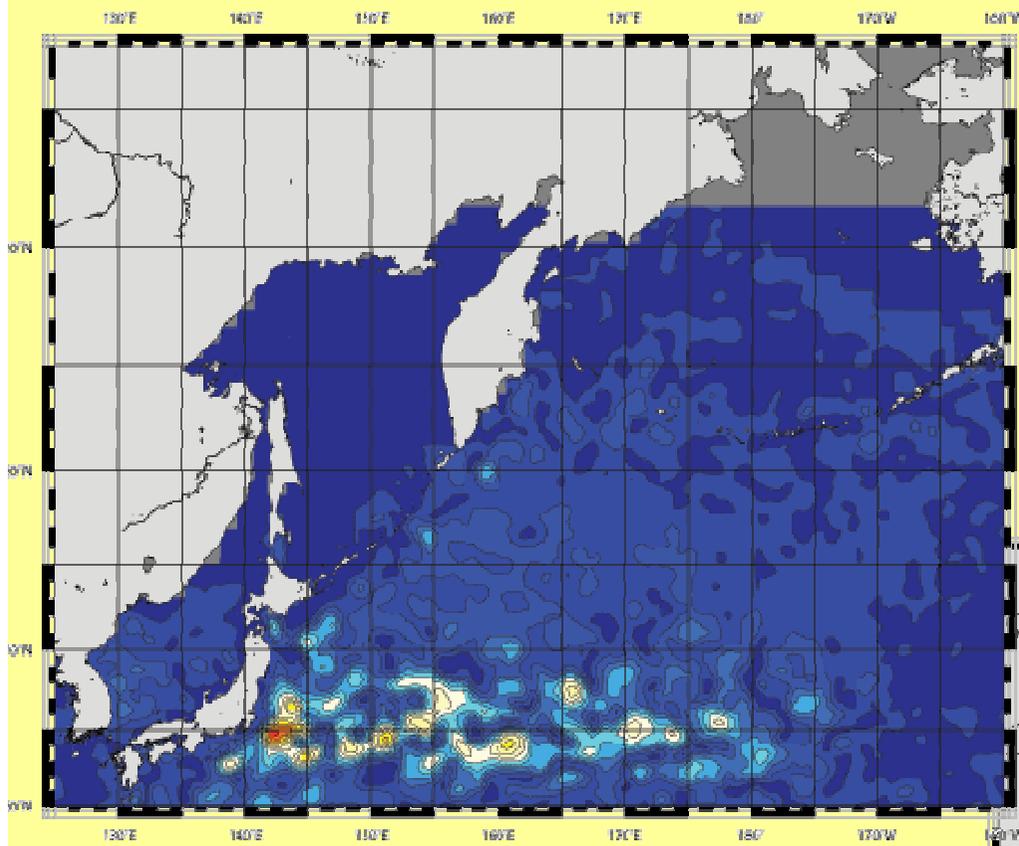
5. Годовые и полугодовые колебания уровня

5.1. Амплитуды годовой и полугодовой гармоник в отдельных мареографных пунктах.

5.2. Изменчивость амплитуды и фазы годовой и полугодовой гармоник по альтиметрическим данным.

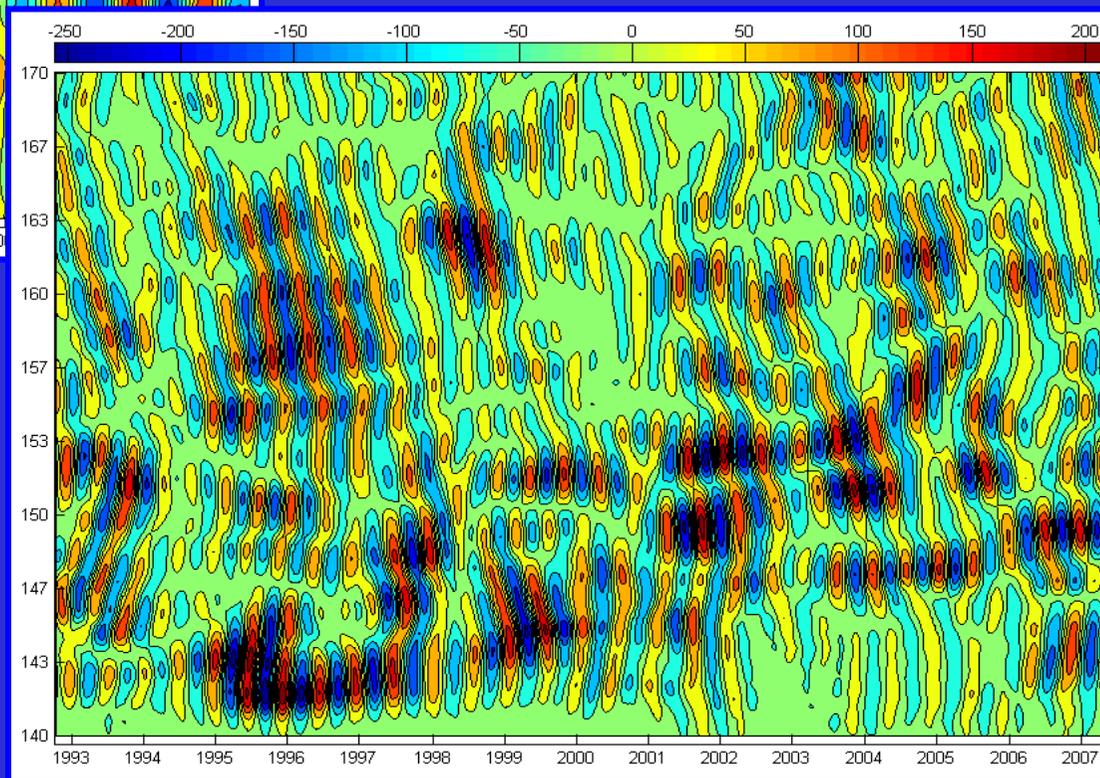
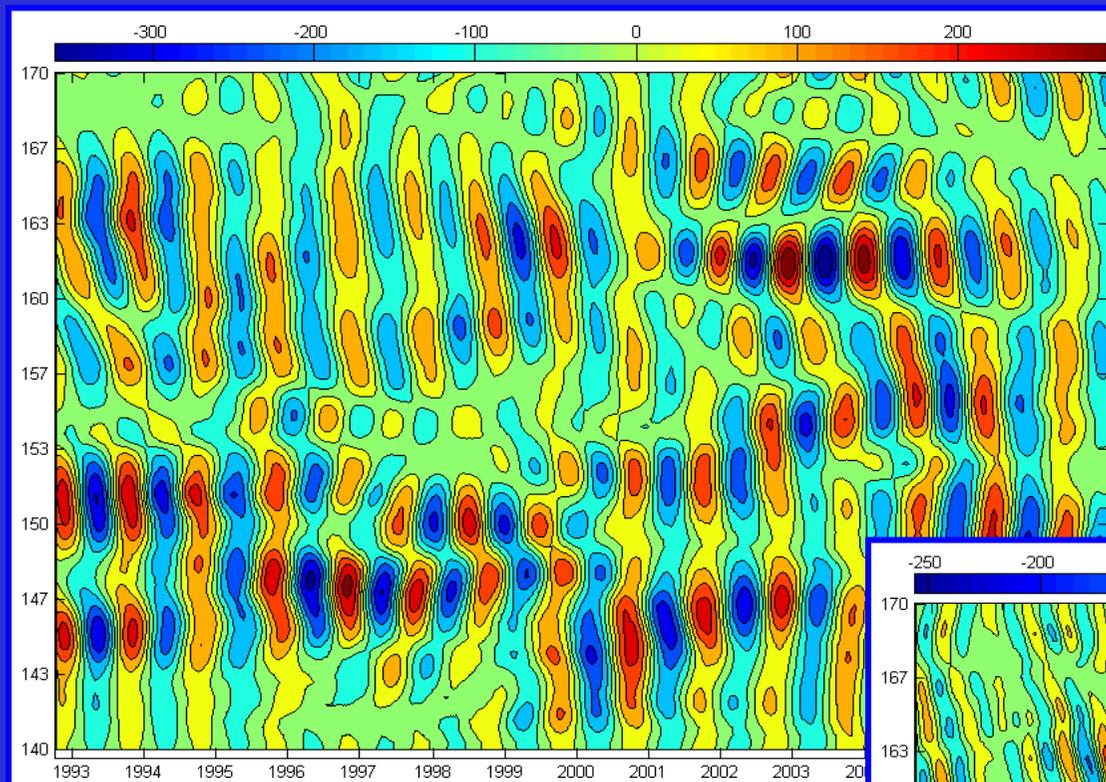


**Изменчивость амплитуды и фазы
годовой гармоник по
альтиметрическим данным**



**Изменчивость
амплитуды и фазы
полугодовой гармоник
по альтиметрическим
данным**

5.3. Изоплеты вейвлет-коэффициентов для годовых и полугодовых колебаний уровня океана, зональный разрез по 35° N



6. Геоострофические течения

6.1. Среднемноголетние течения, рассчитанные по абсолютной динамической топографии поверхности моря

6.2. Среднемноголетние геоострофические течения, рассчитанные по относительной динамической топографии поверхности моря

6.3. Среднегодовые течения, рассчитанные по абсолютной динамической топографии поверхности моря

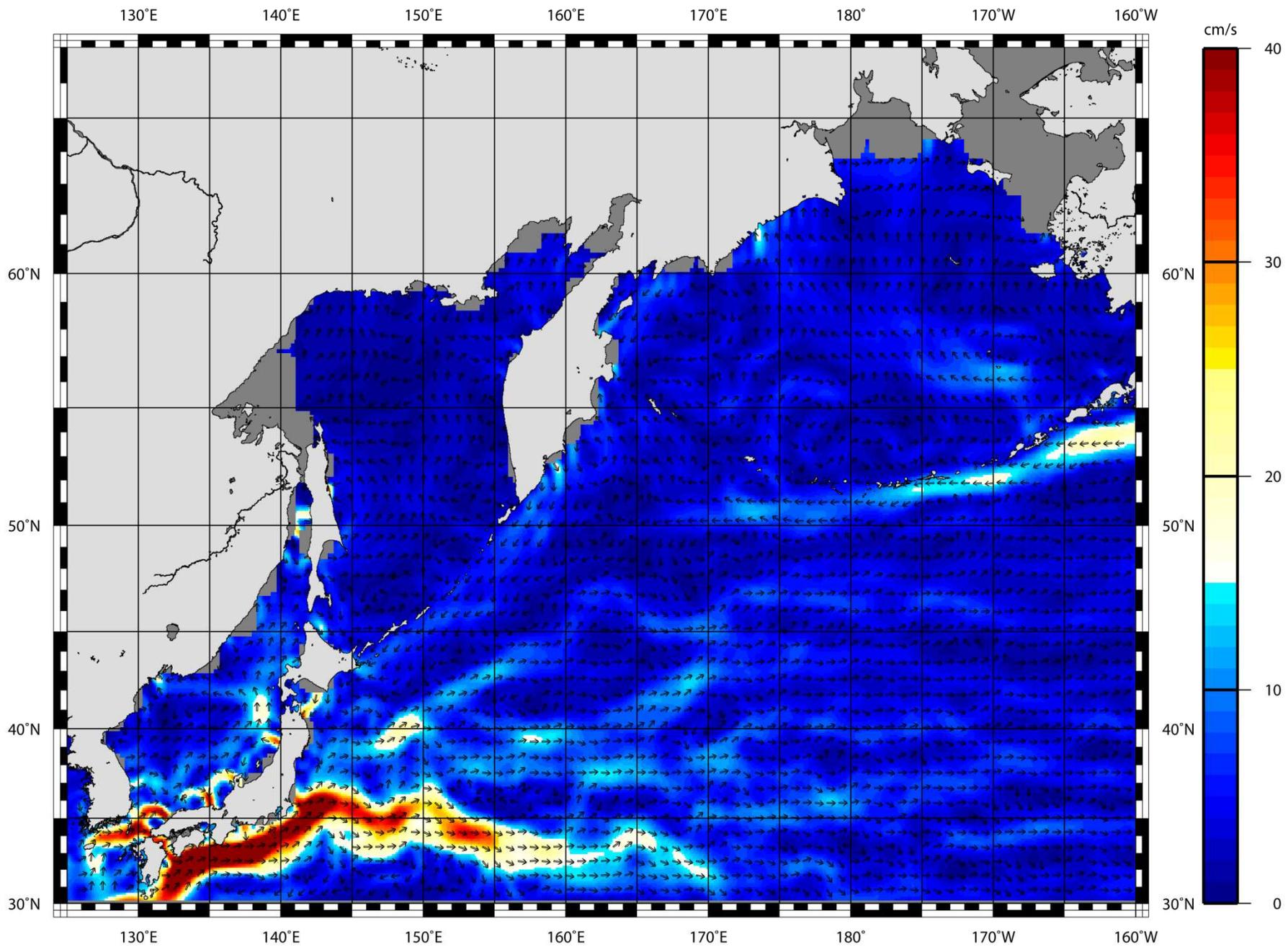
6.4. Среднегодовые течения, рассчитанные по относительной динамической топографии поверхности моря.

6.5. Среднемесячные течения, рассчитанные по абсолютной динамической топографии поверхности моря

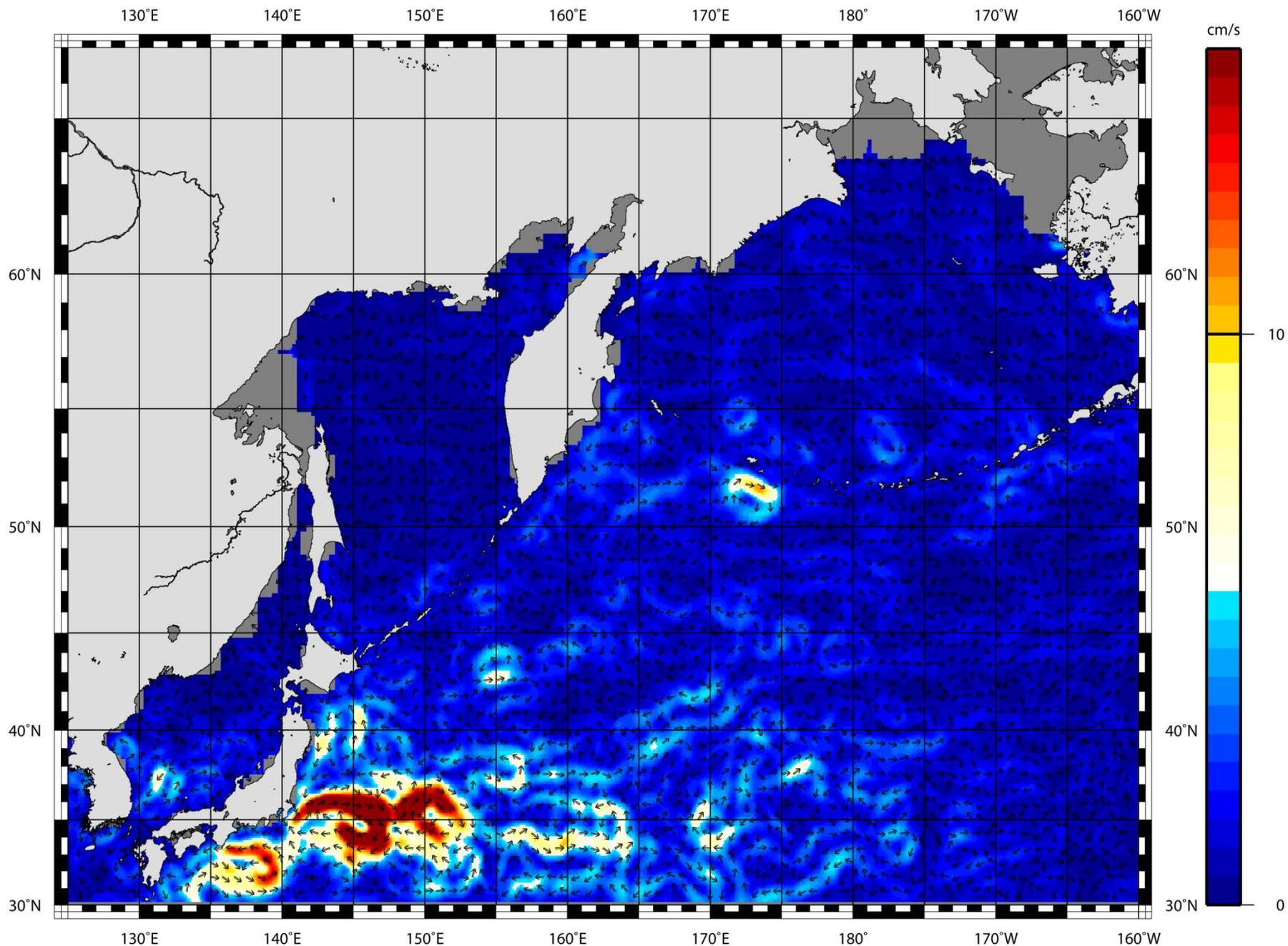
6.6. Среднемесячные течения, рассчитанные по относительной динамической топографии поверхности моря

7. Приливные колебания уровня моря

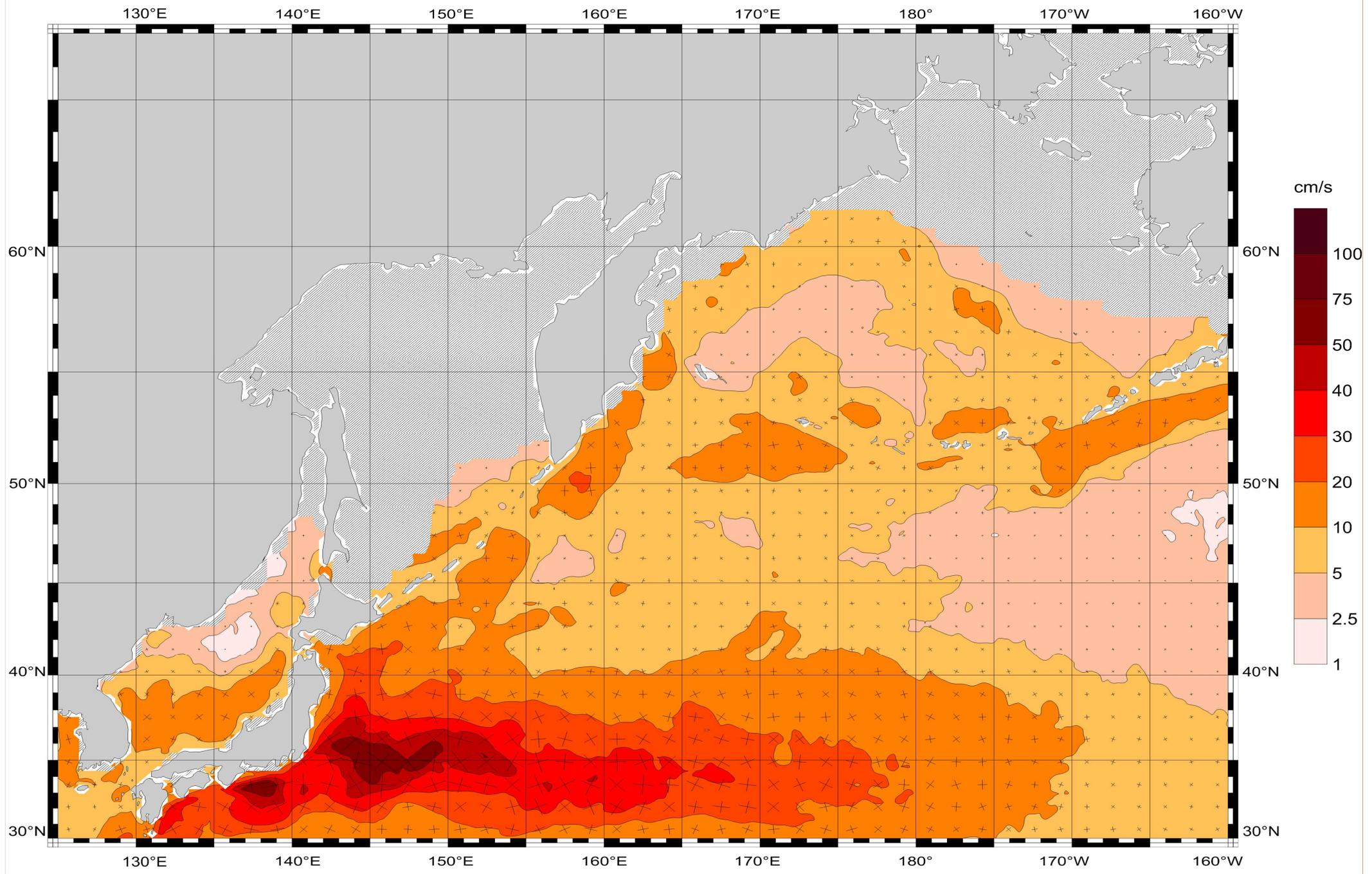
8. Приливные течения



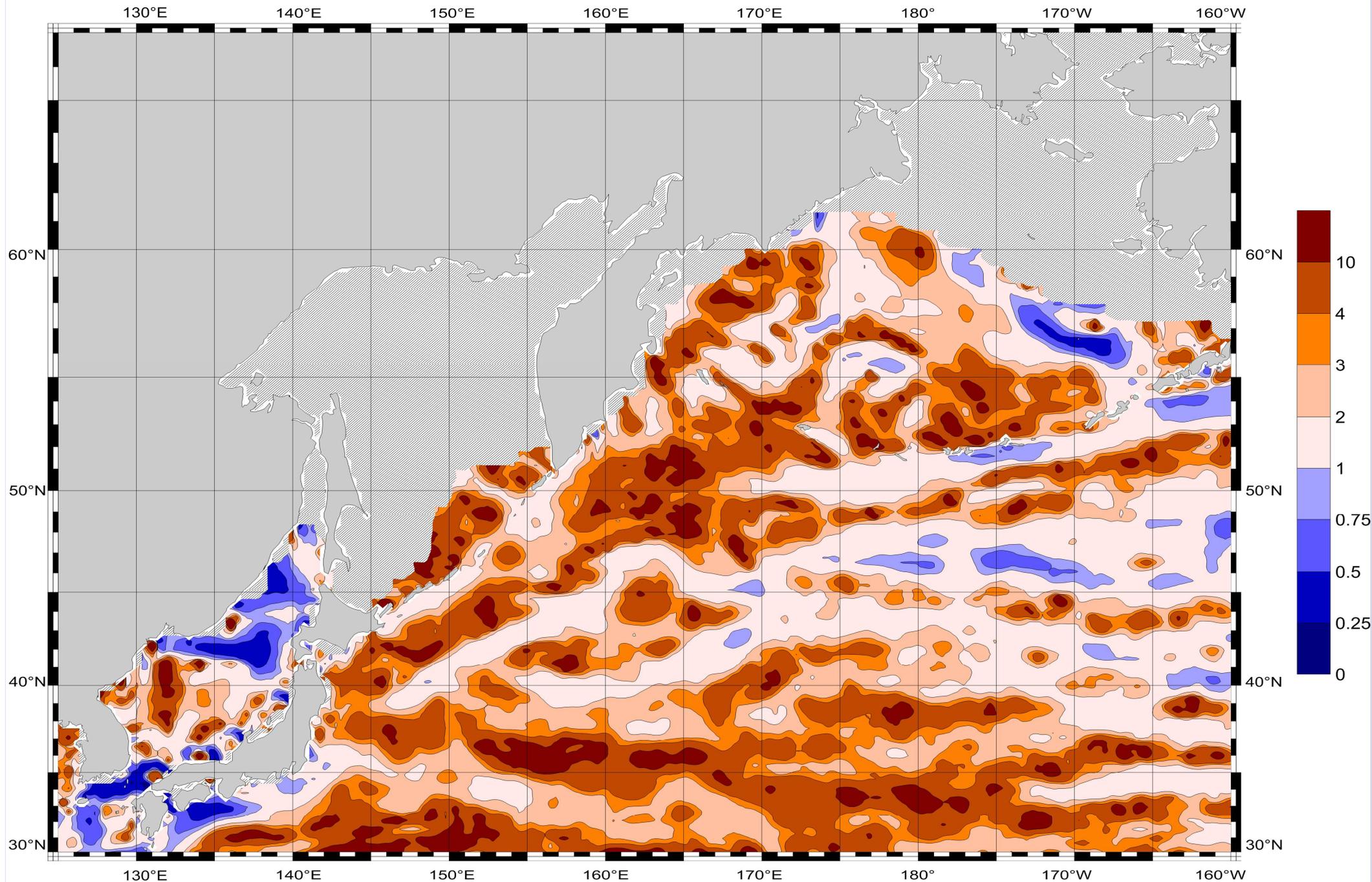
Среднегодовое течение, рассчитанное по абсолютной динамической топографии поверхности моря



Среднемноголетние геострофические течения, рассчитанные по относительной динамической топографии поверхности моря



Эллипсы среднеквадратических отклонений среднемноголетних течений, рассчитанных по абсолютной динамической топографии



Коэффициент вариации среднемноголетних течений, рассчитанных по абсолютной динамической топографии поверхности моря

This project is supported by RFBR, project N11-05-07008

The supervisor Professor Victor R.Foux.

Collaborators:

Belonenko T.V.,
A.V.,

Koldunov

Koldunov V.V.,

May R.I.,

Rubchenia A.V.,
D.K.

Staritsyn