

# Опыт выделения динамического и термодинамического фронтов в Японском и Охотском морях по данным спутниковых альтиметрических измерений

Д.К. Старицын

Санкт-Петербургский государственный университет  
Факультет географии и геоэкологии  
199178 Санкт-Петербург, В.О., 10 линия, д. 33  
E-mail: [d\\_starik@mail.ru](mailto:d_starik@mail.ru)

На основе спутниковых альтиметрических данных рассчитаны скорости изменения уровня равные, в соответствии с интегральным уравнением неразрывности, дивергенции полных потоков. Фронтальная зона определяется как зона конвергенции (скорость изменения уровня – растёт), а фронт как линия максимальной конвергенции. Дается описание межгодовой, и сезонной изменчивости положения и интенсивности фронтальных зон Японского и Охотского морей.

**Ключевые слова:** динамический и термодинамический фронт, спутниковая альтиметрическая информация, сезонная изменчивость, зона дивергенции, зона конвергенции.

В работе предпринята попытка выделения фронтальных зон и фронтальных разделов по данным спутниковых альтиметрических измерений с целью их картирования и оценки пространственно-временной изменчивости в широком диапазоне пространственно-временных масштабов.

В соответствии с работой [1] при анализе и интерпретации спутниковой информации целесообразно опираться на проинтегрированное по вертикали уравнение неразрывности движения:

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

где  $\xi$  - возвышение уровня,  $\vec{V}$  - средний по глубине моря вектор горизонтальной составляющей скорости течения,  $H$  – глубина моря,  $\vec{V}H$  - полный поток.

Тогда при схождении полных потоков ( $\operatorname{div} \vec{V} H > 0$ ), т.е. при их дивергенции, уровень уменьшается ( $\frac{\partial \xi}{\partial t} < 0$ ); при расхождении полных потоков ( $\operatorname{div} \vec{V} H < 0$ ), т.е. при конвергенции полных потоков, уровень моря растёт ( $\frac{\partial \xi}{\partial t} > 0$ ).

Операция выделения зон вергенций сводится к следующему: на основе расчета  $\frac{\partial \xi(x, y)}{\partial t}$  в поле возвышений уровня выделяются зоны  $\frac{\partial \xi}{\partial t} = 0$  - зоны нулевой дивергенции;  $\frac{\partial \xi}{\partial t} < 0$  - зоны дивергенции;  $\frac{\partial \xi}{\partial t} > 0$  - зоны конвергенции полных потоков; максимальные значения  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ .  
Понятно, что линии нулевых значений дивергенции будут соответствовать фронтальным зонам, а

линии  $\frac{\partial \xi}{\partial t} = \max$  соответствуют фронтальным разделам. Схема точек, в которых производились расчеты  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ , представлена на рисунке 1.

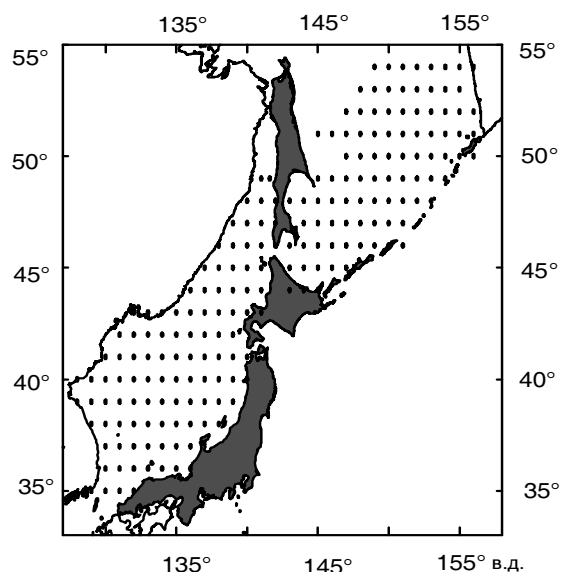


Рис. 1. Схема точек, в которых рассчитывались  $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ .

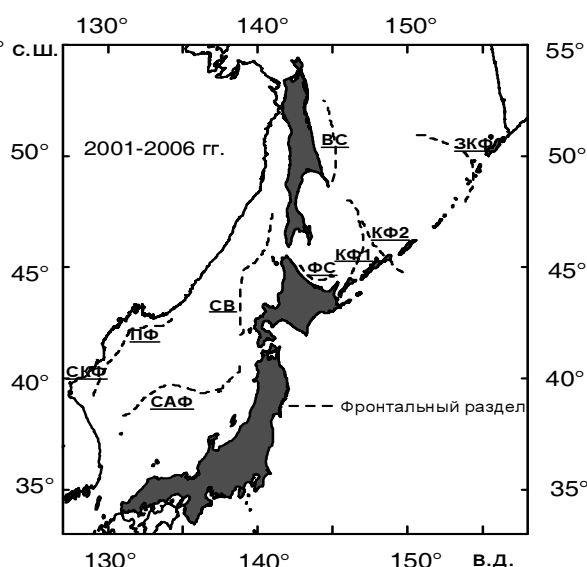


Рис. 2. Среднее положение динамических фронтальных разделов в Японском и Охотском морях по альтиметрическим данным

Процедура обработки состоит из следующих этапов:

- Получение среднемесячных временных ряды уровня, в узлах сетки  $1^\circ \times 1^\circ$  за период 2001-2006 гг;
- Получение среднесезонных временных ряды уровня, в узлах сетки  $1^\circ \times 1^\circ$  за период 2001-2006 гг;
- Получение среднегодовых временных ряды уровня, в узлах сетки  $1^\circ \times 1^\circ$  за период 2001-2006 гг;
- Расчет  $\frac{\partial \xi(x, y)}{\partial t}$ ;
- Построение карт среднего положения фронтов за период 2001 – 2006 гг.
- Построение карт среднесезонного положения фронтов.

На рисунке 2 представлено вычисленное по изложенной выше методике положение фронтов в Японском и Охотском морях, по осредненным (с 2001 по 2006 гг) спутниковым данным. Хорошо видно, что в пределах исследуемой акватории выделяются динамические фронты, которые не противоречат сложившимся представлениям [2, 3, 4]. К ним относятся: Субарктический фронт (САФ), ограничивающий с севера воды субарктической структуры; фронт Приморского течения (ПФ); Северо-Корейский фронт (СКФ), разделяющий воды Западно- и Северо-Корейского течений; фронты Цусимского течения (ФЦТ), разделяющие воды потоков Куро시오 выходящих из Корейского пролива; фронт течения Соя (ФС), ограничивающий воды северной ветви Цусимского течения; Восточно-Сахалинский фронт (ВС) разделяющий воды Восточно-Сахалинского течения и собственно охотоморские воды; фронты Курильских проливов, ограничивающие перемешанные океанические воды, вторгающиеся через них в Охотское море; Западно-Камчатский фронт (ЗКФ), ограничивающий воды Западно-Камчатского шельфа.

В то же время имеются существенные отличия. Так, например, среднее положение САФ проходит вдоль  $38^\circ$  с.ш., что примерно на  $2^\circ$  южнее обычно приводимых в литературе данных. Такое несоответствие можно объяснить расхождением местоположения термических и динамических фронтов. В Охотском море отчетливо выделяются термодинамические фронты,

обусловленные потоками вод через Курильские проливы не всегда выделяемые при дешифрировании спутниковых ИК- снимков.

Сезонная изменчивость динамических фронтов Японского и Охотского морей связана, главным образом, с муссонной циркуляцией и сезонной перестройкой в поле течений, обусловленной сезонным ходом интенсивности пассатных ветров.

В зимний период в связи с преобладающими северо-западными ветрами общая циркуляция вод в этих морях ослабляется и динамические фронтальные зоны, как зоны конвергенции потоков менее выражены (рис. 3). Другим фактором, объясняющим слабую выраженность фронтальных зон в зимний период данным методом, может являться доминирование стерических эффектов в связи с резким уменьшением температуры воды на всей акватории морей.

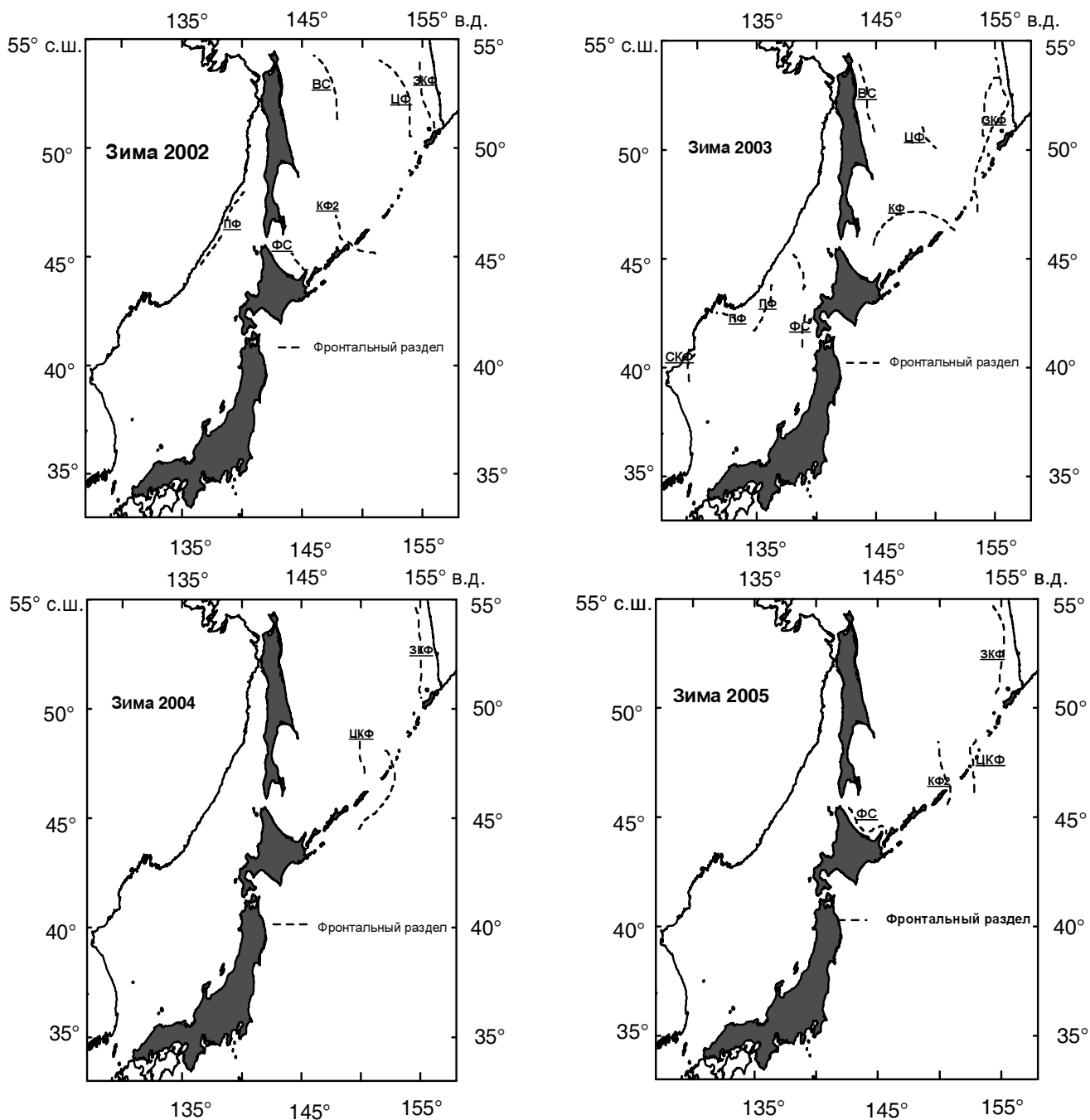


Рис. 3. Положение динамических фронтальных разделов в Японском и Охотском морях в зимний период

Очевидно весной в межмуссонный период выраженные фронтальные зоны только формируются (рис. 4).

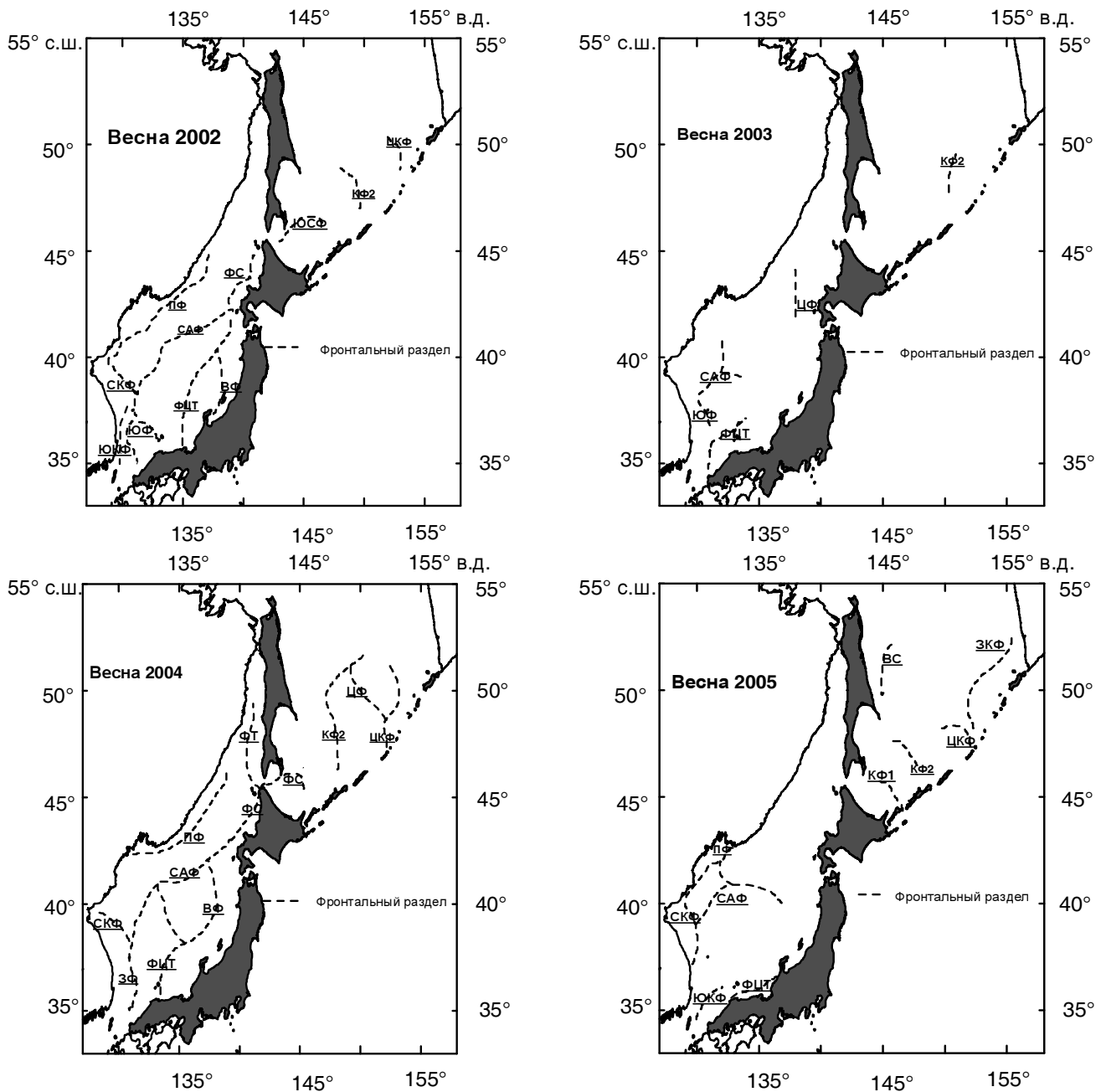


Рис. 4. Положение динамических фронтальных разделов в Японском и Охотском морях в весенний период

Наиболее выражены динамические фронтальные зоны в летне-осенний период. Это связано с общей интенсификацией течений в период летнего муссона, которая проявляется в усилении Цусимского течения в Японском море и течения Соя в Охотском море, а также усилении Приморского и Восточно-Сахалинского течений.

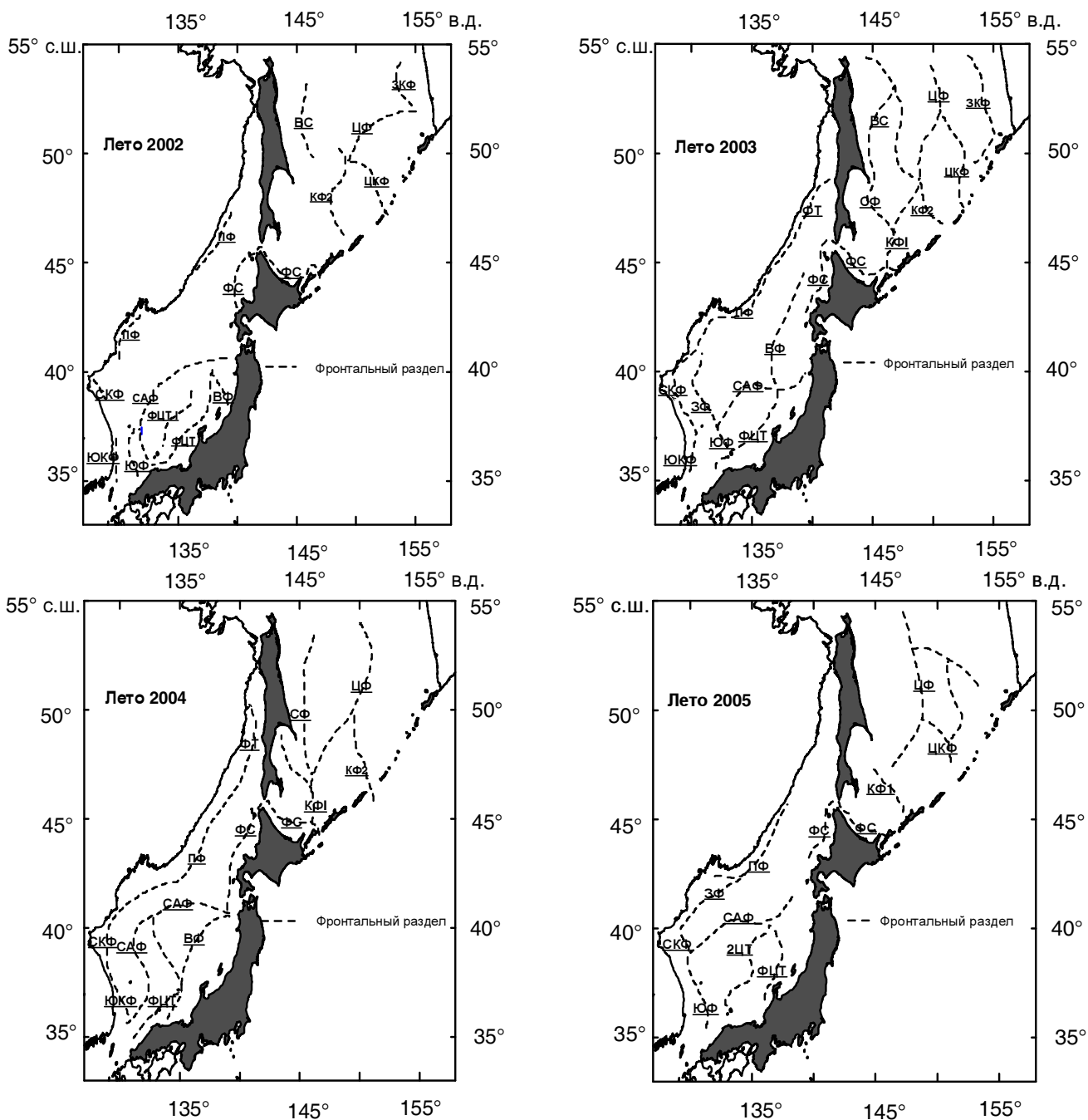


Рис. 5. Положение динамических фронтальных разделов в Японском и Охотском морях в летний период

Рассматривая карты распределения фронтальных разделов в летне-осенний период (рис. 5, 6) можно заметить дополнительные фронтальные образования, сформировавшиеся вблизи стационарных фронтов. Происхождение этих образований, по всей видимости, связано с наличием меандров и вихрей являющихся динамическим следствием неустойчивости струйных течений. Карты сезонного распределения фронтальных зон и разделов, представленные на рисунках 3, 4, 5, 6 хорошо иллюстрируют пространственно-временную эволюцию таких образований.



2. *Никитин А.А., Харченко А.М.* Типизация термических структур в Японском море и некоторые элементы их изменчивости // Известия ТИНРО, 2002. Т. 131. С. 22-40.
3. *Никитин А.А., Дьяков Б.С.* Структура фронтов и вихрей в западной части Японского моря.// Известия ТИНРО, 1998. Т. 124. С. 714-733.
4. *Patullo J., Mynk W., Revell R., Strong E.* The seasonal oscillation in sea level // J. Marine Res., 1955. V. 14. N1. P. 88-155.

## **Trial localization of dynamical/thermal fronts in the Japan and Okhotsk Seas by satellite altimeter data**

**D.K. Starytzy**

*The Saint-Petersburg State University, Geography and Geoecology Department  
E-mail: [d\\_starik@mail.ru](mailto:d_starik@mail.ru)*

Based on satellite altimeter data, the level change rates are calculated from the integral continuity equation for full flux divergence. A frontal zone is a convergence zone (increasing rate of the level change), but a front is a maximum convergence contour. Inter-year and seasonal variability of the position and intensity of frontal zones in the Japan and Okhotsk Seas is discussed.

**Keywords:** Dynamical front, thermal front, satellite altimetry information, seasonal variability, divergence zone, convergence zone.