

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИК ОБЪЕКТИВНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

*Поликутин Е.Ю. (ДВФУ, [polikutinevgeny@gmail.com](mailto:polikutinevgeny@gmail.com)),  
Олейников И.С. (ДВНИГМИ, [oleynikov@ferhri.ru](mailto:oleynikov@ferhri.ru))*

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема объективного разделения водных и воздушных масс не теряет актуальности вот уже более пятидесяти лет. Первые работы по объективному разделению воздушных масс и определению положения линии фронта были опубликованы в 60-е. Методики, применяемые для определения положения линии раздела между объектами с различными физическими характеристиками можно классифицировать на объективные и субъективные. Субъективными или экспертными методами данная задача на сегодняшний день решается в большинстве метеоагентств и метеорологических служб разных стран. Основной проблемой применения объективных методов является отсутствие строгого количественного определения фронта или водной/воздушной массы как объекта. Имеющиеся определения носят качественный характер и могут быть применены экспертом, однако для автоматизации процессов требуется точное знание констант и алгоритмов, которые могли бы идентифицировать границы физического объекта с определенной точностью. Для иллюстрации этой необъективности можно посмотреть на карты, составленные различными метеоагентствами (см. рис. 1). Необъективность в нахождении таких важных объектов порождает неточности при прогнозировании осадков, штормовых ветров и т. п. в атмосфере и течений, границ зон дивергенции/конвергенции при моделировании океана.

В данной работе за основу были взяты данные атмосферных моделей, однако, если учесть схожесть структуры фронтов и фронтальных разделов, все описанные методы должны успешно воспроизводиться в применении и к моделям океана. Общим для всех типов фронтов является высокий горизонтальный градиент в поле температуры воздуха и «расплывчатость» границ. Фронт скорее можно называть зоной фронтального раздела, которая имеет определенную «ширину» в горизонтальном направлении [1, 7]. Само понятие атмосферного фронта было введено в обиход после двух мировых войн Бергенской школой. Современный язык синоптической метеорологии обязан своему существованию военной науке вместе с такими терминами как фронт, блокирование, взрывной циклогенез и т. д.

## КРИТЕРИИ

Исторически первой работой, в 1965 году поставившей вопрос об объективном выделении атмосферных фронтов, стала работа метеорологов из ВМС США [5] В ней был предложен один из наиболее широко используемых параметров, определяющих

местоположение фронта – термический фронтальный параметр (TFP) [2], который может быть определен как (1):

$$TFP(\tau) = -\nabla|\nabla\tau| \cdot \frac{\nabla\tau}{\tau} \quad (1)$$

где  $\tau$  – некоторая термодинамическая переменная, например, температура воздуха.

При этом в простейшем варианте само значение фронтального параметра может быть взято в качестве критерия для выделения области расположения фронтального раздела, в случае, если его значение превышает эмпирически определенный порог в месте локального максимума.

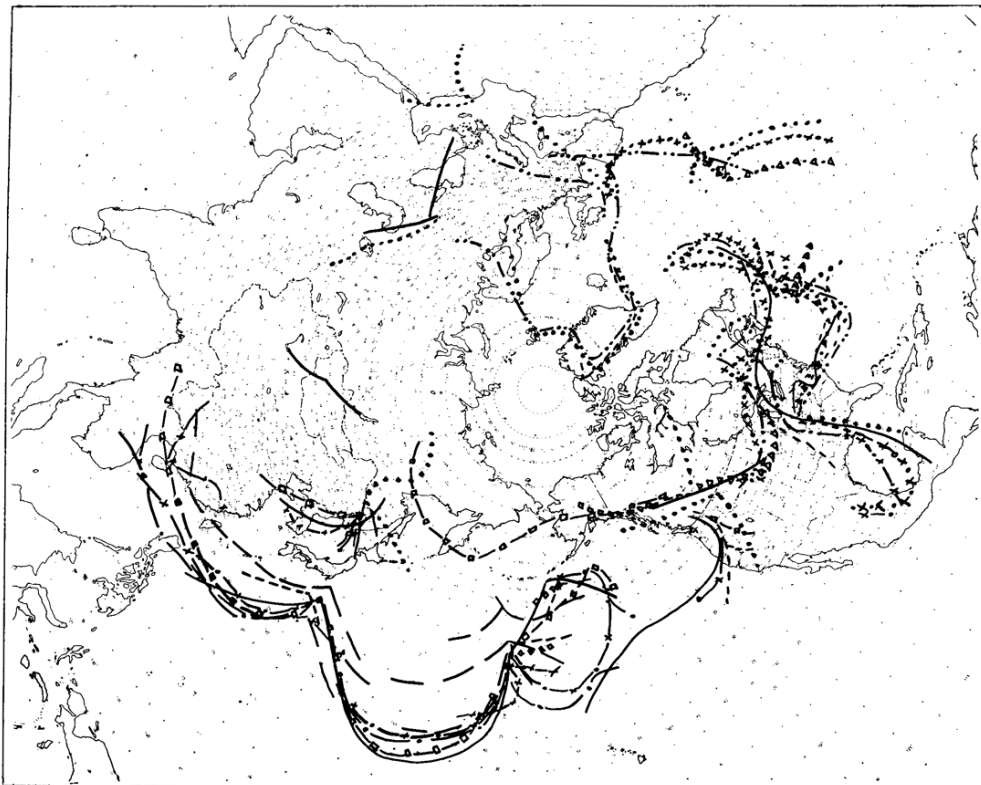


Рисунок 1. Линии атмосферных фронтов, выделенные 16 различными метеоагентствами на 05.03.1964 в северном полушарии. Взято из работы [5].

Исследования проблемы выделения фронтов продолжались с переменным успехом, и в 1998 году британским метеорологом Хьюсоном в работе [2] был проведен анализ существующих попыток решения задачи и предложен следующий критерий, использующий некоторые пороги для определения принадлежности данной точки пространства фронту (2).

$$\begin{aligned} TFP(\tau_p) &> K_1 \\ (\nabla\tau_p) + m\chi(\nabla(\nabla\tau_p)) &> K_2 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $m$  – положительная числовая константа;  $\chi$  – шаг сетки.

Подход с TFP не является единственным. Например, в 2017 году в работе [4] был предложен альтернативный критерий (3)

$$F = \frac{\zeta_p |\nabla T_p|}{f |\nabla T_0|} > 1$$

(3) где  $\zeta_p$  – завихренность поля ветра на изобарической поверхности давления  $p$ , рассчитывается согласно [8];

$T_p$  – температура воздуха на изобарической поверхности давления  $p$ ;

$f$  – параметр Кориолиса;

$$(\nabla T_0) = 0.45 \frac{K}{100 \text{ км}} \text{ – постоянная.}$$

В работе критерии Парфитта (3) и Хьюсона (2) были объединены в новый критерий, позволяющий отбраковывать не подходящие по одному из критериев области и учитывать изменение направления ветра в области фронтального раздела (4)

$$\begin{aligned} TFP(\tau_p) &> K_1 \\ |\nabla \tau_p| + m \chi |\nabla |\nabla \tau_p|| &> K_2 \\ \frac{\zeta_p}{f} &> K_3 \end{aligned} \quad (4), \text{ где } K_1, K_2 \text{ и } K_3 \text{ – эмпирически подбираемые константы}$$

Таким образом при использовании критерия (4) возможно совмещение преимуществ ранее широко используемых методов Хьюсона и Парфитта с соответствующими ограничениями на область изменения направления ветра.

При этом сами критерии определяют не линии разделов, так называемые фронты, а области пространства, зачастую весьма причудливых форм и размеров. В рамках данной работы будем считать, что не все из этих областей на самом деле являются фронтальными разделами, а лишь удовлетворяющие условиям определенной гладкости и протяженности, т. е. только те области, которые можно аппроксимировать гладкими функциями первого или второго порядков.

## АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ФРОНТОВ

Для выделения линий из областей авторами были использованы три метода: обнаружение гребней, модифицированное обнаружение гребней и истончение.

В работе [3] подробно изложен первый из перечисленных алгоритмов, предлагаемый в том числе и для целей автоматизированного распознавания фронтов. Данный алгоритм позволяет находить узкие зоны относительно высоких значений в некотором поле, при этом он не использует выделенные области напрямую, но применяет их в качестве дополнительного параметра на первом этапе работы.

Рассмотрим окрестность некоторой точки  $X$ . На первом этапе алгоритма для неё рассчитывается значение  $K_1$  – количество точек в окрестности текущей точки, для которых

значение поля меньше, чем в текущей. На данном этапе устанавливается некоторый порог на значение поля в текущей точке, если значение ниже порога, то  $K_1$  устанавливается равным 0. Затем на этом же этапе исключаются все точки с  $K_1 < 4$ , принимаются все точки с  $K_1 \geq 6$ , а для точек с  $4 \leq K_1 < 6$  устанавливаются следующие дополнительные условия:

1) если  $K_1 = 4$  и точки непосредственно западнее и северо-западнее её имеют значения больше  $X$ , то точка включается в рассмотрение в случае,

1.1) если точки южнее и юго-восточнее её имеют значение больше  $X$ ,

1.2) либо точки юго-восточнее и восточнее имеют значение больше  $X$ ,

1.3) либо точки восточнее и северо-восточнее имеют значение больше  $X$ ;

2) если  $K_1 = 5$  и точки непосредственно западнее и северо-западнее её имеют значения больше  $X$ , то точка включается в рассмотрение в случае, если хотя бы одна из точек южнее, юго-восточнее, восточнее или северо-восточнее имеют значение больше  $X$ .

На втором этапе в качестве начальных выбираются точки с  $K_1 = 8$ . Алгоритм просматривает окрестность текущей точки и выбирает еще не посещенную с наибольшим значением  $K_1$ . Если таких точек несколько, то среди выбирается точка с наибольшим значением  $X$ . При этом не рассматриваются для перехода точки приводящие к развороту линии более чем на  $\beta$  градусов. Для каждой начальной точки второй этап выполняется 2 раза.

Алгоритм модифицированного обнаружения гребней отличается от вышеизложенного тем, что на этапе 2 рассматривается не только непосредственная окрестность точки  $X$ , а её окрестность с некоторым радиусом  $D$ . В рассматриваемой окрестности точки обрабатываются в следующем порядке:

1) в порядке увеличения расстояния от текущей,

2) в порядке увеличения угла поворота от предыдущей точки к текущей и от неё к рассматриваемой в качестве продолжения линии,

3) по значению  $K_1$ ,

4) по значению  $X$ .

После этого для перехода к следующей точке рассматриваются углы поворота не только от предыдущей точки, но и от двух предыдущих поворотов.

В алгоритме истончения применяется более классический подход к превращению области в линию. Подобные алгоритмы широко используются в теории машинного распознавания образов. Примененный в работе алгоритм подробно описан в [6], детальное объяснение механизмов его работы не требуется.

## **ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Результаты работы критериев выделения областей фронтальных разделов при применении к ним различных алгоритмов представлены на рис. 2. Пример итогового результата работы программы на рис. 3.

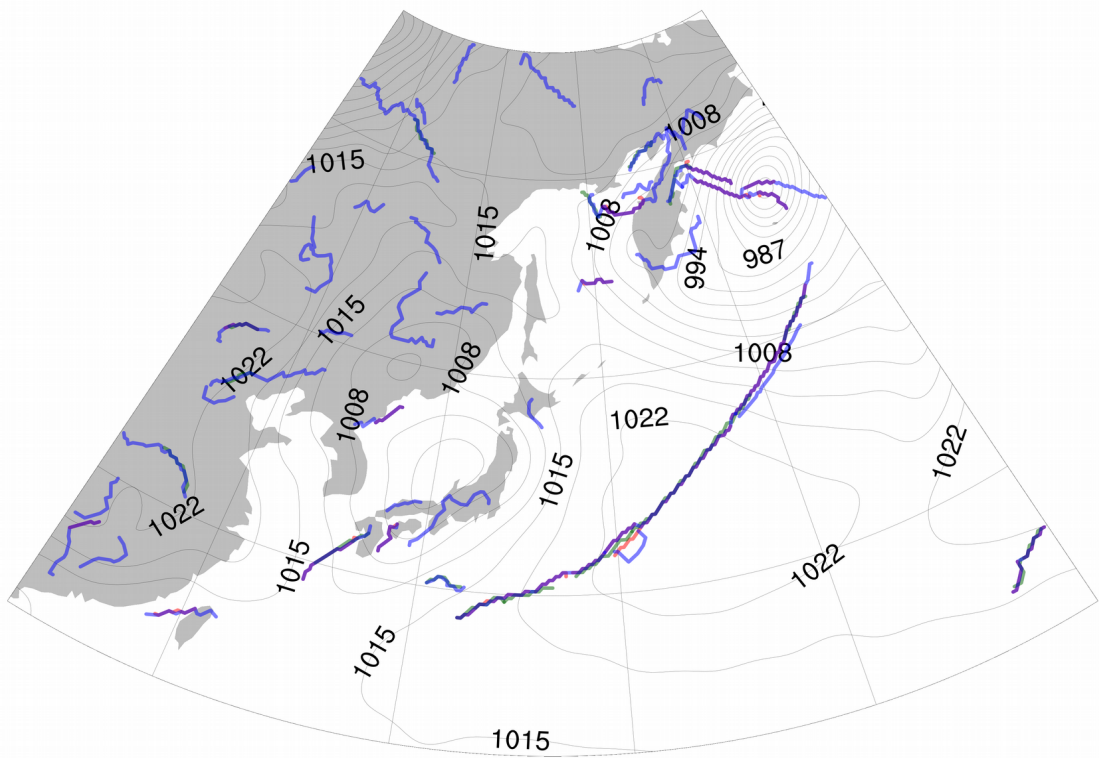


Рисунок 2. Результат применения различных алгоритмов выделения линий фронта. Красным показан результат алгоритма выделения гребней, зеленым – алгоритма истончения, синим – модифицированный алгоритм выделения гребней. Данные на 17.03.2018 г. 0:00 UTC.



Рисунок 3. Результат разработанной технологии объективного распознавания фронтов и фронтальных разделов на 17.03.2018 г. 0:00 UTC. Применен критерий (4) с модифицированным алгоритмом выделения гребней.

В работе были исследованы различные способы выделения линий фронтальных разделов воздушных масс. Полученные результаты доказывают принципиальную возможность автоматического распознавания таких объектов при наличии модельных данных об атмосфере на различных изобарических поверхностях. Выработанные критерии подходят для работы с параметрами T850, T925 и соответствующими геопотенциальными высотами. Для приземного уровня (1000 гПа) слишком велика «зашумленность», что не позволяет выработать достаточно приемлемый критерий, для более высоких уровней требуется подбирать собственные константы  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ , отражающие особенности соответствующих атмосферных процессов.

В дальнейшей работе возможно применение разработанной технологии к изменениям положения атмосферных фронтов во времени, что позволит отслеживать качественные изменения в происходящих процессах в атмосфере.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шакина Н.П. Лекции по динамической метеорологии / Н.П. Шакина. – М: ТРИАДА ЛТД, 2013. – 160 с.
2. Hewson T.D. Objective fronts / T.D. Hewson // Meteorological Applications. – 1998. – Vol. 5. – № 1. – P. 37-65.
3. Jann A. Use of a simple pattern recognition approach for the detection of ridge lines and stripes / A. Jann // Meteorological Applications. – 2002. – Vol. 9. – № 3. – P. 357-365.
4. Parfitt R. A simple diagnostic for the detection of atmospheric fronts / R. Parfitt, A. Czaja, H. Seo // Geophysical Research Letters. – 2017. – Vol. 44. – A simple diagnostic for the detection of atmospheric fronts. – № 9. – P. 4351-4358.
5. Renard R.J. Experiments in numerical objective frontal analysis / R.J. Renard, L.C. Clarke // Monthly Weather Review. – 1965. – Vol. 93. – № 9. – P. 547-556.
6. Boudaoud L.B. A modified ZS thinning algorithm by a hybrid approach / L.B. Boudaoud, B. Solaiman, A. Tari // The Visual Computer. – 2017. – P. 1-18.
7. Weather for Sailing, Flying & Snow Sports, ATSC 113 Identifying Fronts // Univ. Of British Columbia courses [https://www.eoas.ubc.ca/courses/atsc113/snow/met\\_concepts/05-met\\_concepts/05f-fronts-maps/](https://www.eoas.ubc.ca/courses/atsc113/snow/met_concepts/05-met_concepts/05f-fronts-maps/)
8. Расчет завихренности в библиотеке программ NCL функция `uv2vr_cfd` // [http://www.ncl.ucar.edu/Document/Functions/Built-in/uv2vr\\_cfd.shtml](http://www.ncl.ucar.edu/Document/Functions/Built-in/uv2vr_cfd.shtml).