

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ХОЛОДНЫХ ФРОНТОВ В АТМОСФЕРЕ
МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ**

М. С. Юдин

Институт Вычислительной Математики и Математической Геофизики
СО РАН, Новосибирск

**COLD FRONT PROPAGATION IN THE ATMOSPHERE
MONITORING AND SIMULATION**

M. S. Yudin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics
SB RAS, Novosibirsk

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Расчет распространения фронтов проводится на основе гидродинамических моделей возрастающей степени сложности:

- одномерная модель мелкой воды,
- двумерная модель мелкой воды,
- трехмерная негидростатическая модель атмосферной динамики.

$$\frac{dU}{dt} + \frac{\partial P}{\partial x} = f_1(V - V_g) - f_2W + R_u,$$

$$\frac{dV}{dt} + \frac{\partial P}{\partial y} = -f_1(U - U_g) + R_v,$$

$$\frac{dW}{dt} + \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{gP}{C_s^2} = f_2U + g \frac{G^{1/2} \bar{\rho} \theta'}{\theta} + R_w$$

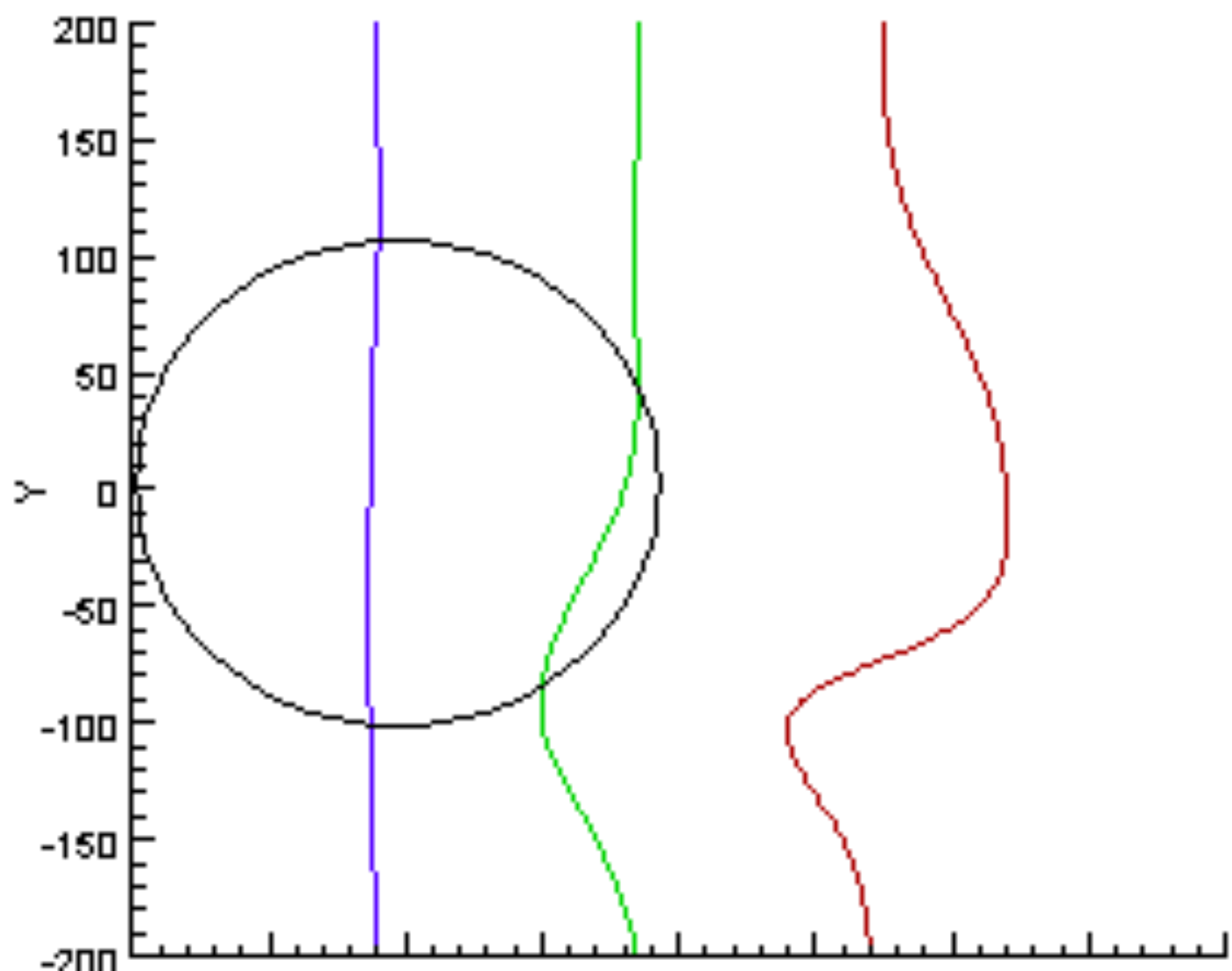
$$\frac{d\theta}{dt} = R_\theta,$$

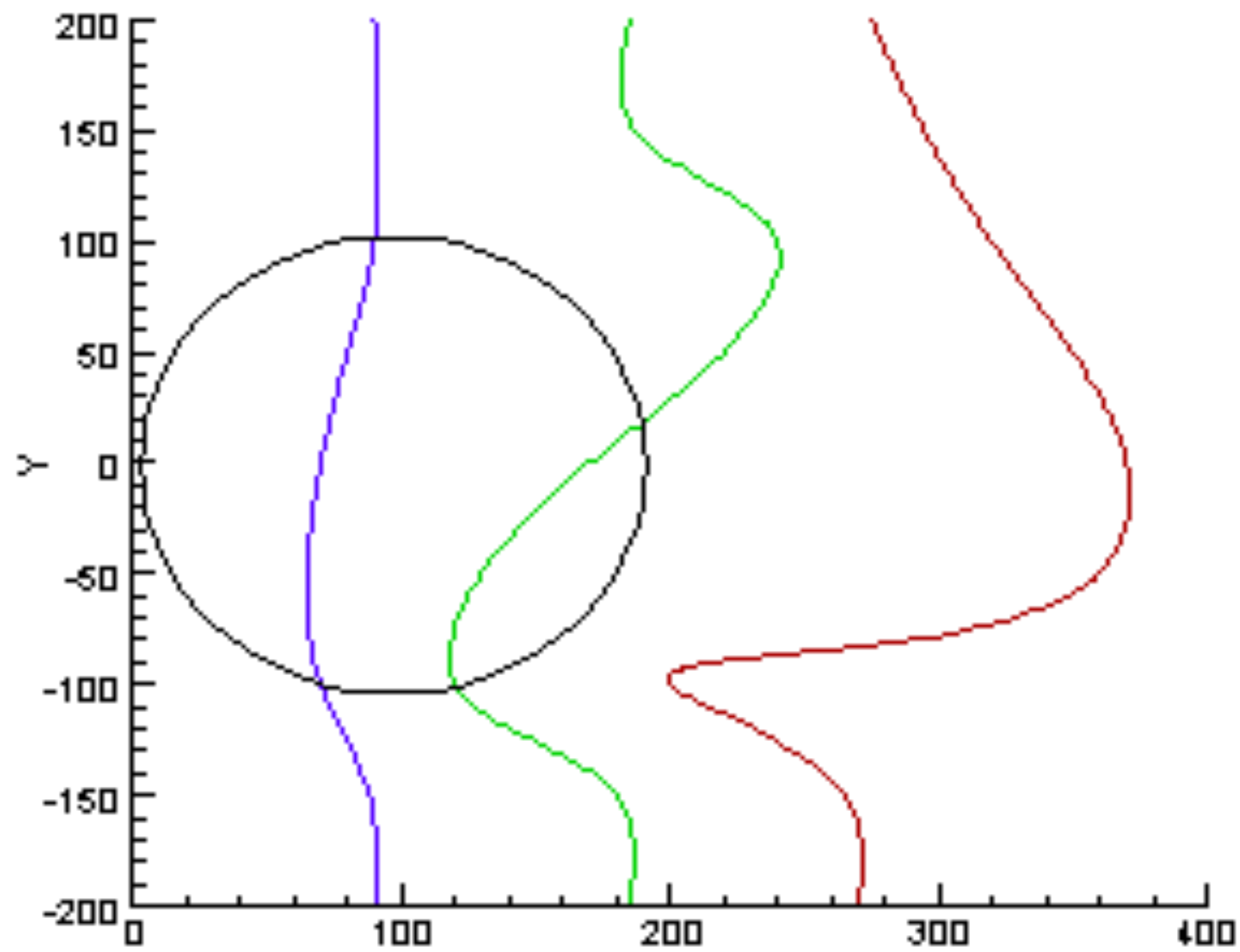
$$\frac{ds}{dt} = R_s,$$

$$\frac{1}{C_s^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\bar{\rho} \theta'}{\theta} \right)$$

$$U = \bar{\rho}u, V = \bar{\rho}v, P = \bar{\rho}p',$$

Model equations





Численное изучение влияния орографии на мезомасштабные гравитационные течения в атмосфере.

Подробно исследованы особенности распространения холодного атмосферного фронта над горной долиной и холмом при устойчивой и нейтральной стратификации.

Показано, что увеличение высоты препятствия и скорости распространения приводит к возникновению гидравлических скачков на поверхности фронта и деформация фронта препятствием усиливается при наличии стратификации.

Приведены оценки влияния различных метеорологических параметров на величину деформации фронта. В частности, величина замедления фронта холмом существенно больше, чем величина замедления фронта горной долиной той же (симметричной) формы.

Полученные результаты находятся в хорошем согласии с данными наблюдений в атмосфере и в лабораторных экспериментах.

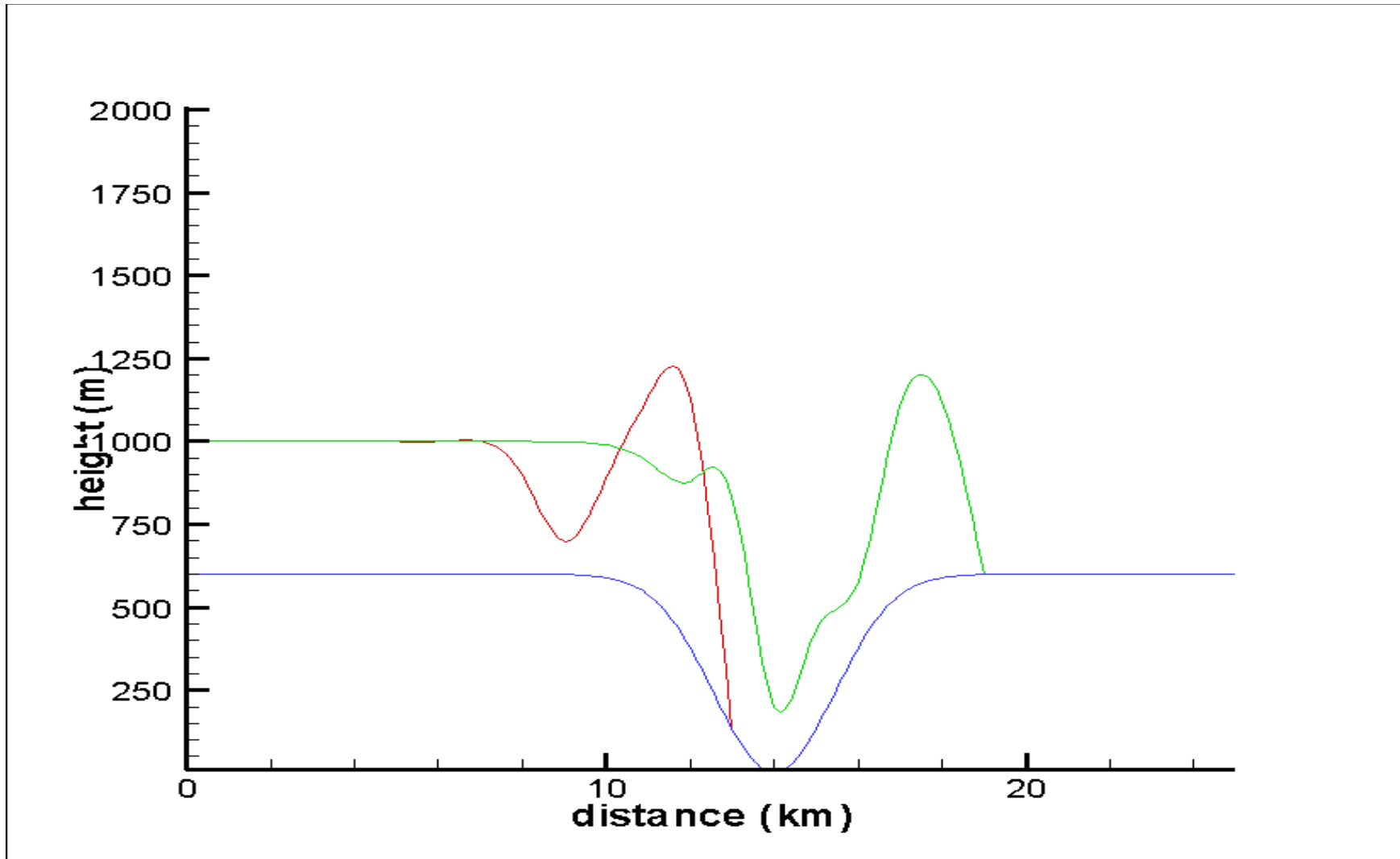
WENO (weighted essentially non-oscillatory) schemes

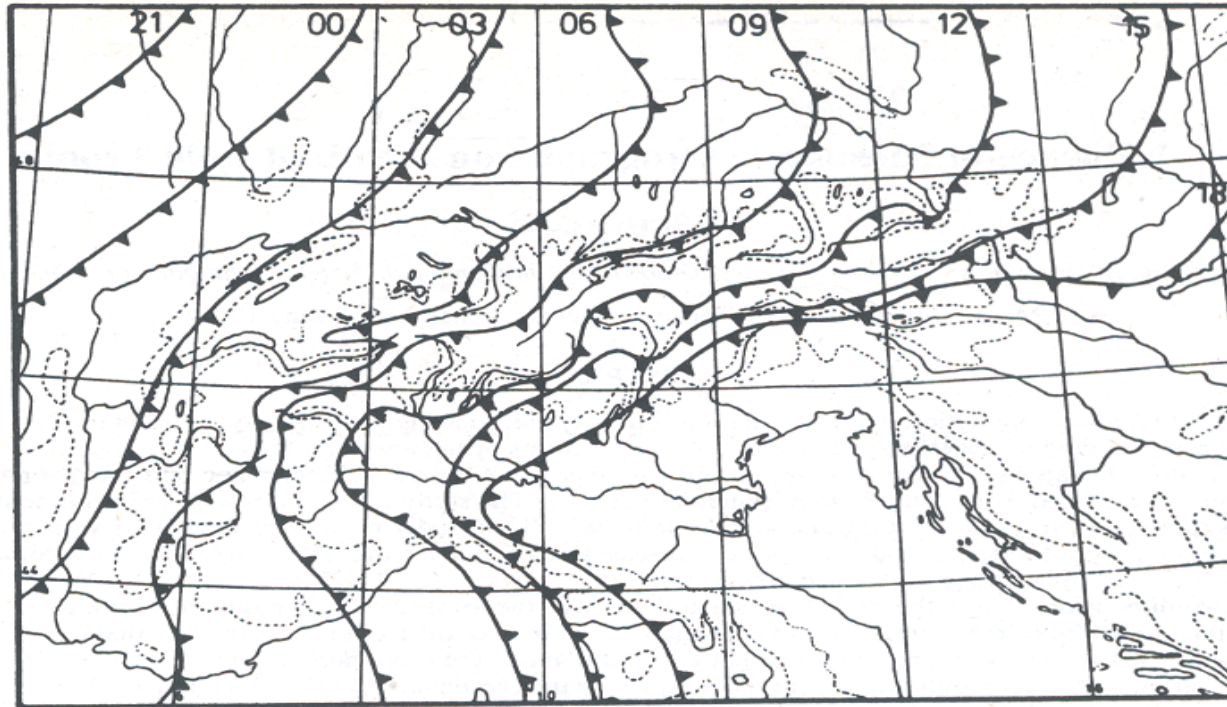
методы сквозного счета
высокого порядка точности

линейная комбинация
допустимых шаблонов сетки
с коэффициентами,
зависящими от решения

(малы для всех шаблонов
содержащих разрыв и близки
к оптимальным в областях,
где решение гладкое)

Распространение атмосферного фронта над долиной. Красный график- фронт перед входом в долину, зеленый-после прохождения долины. Интервал между графиками-15 мин, скачок температуры на фронте-2К.

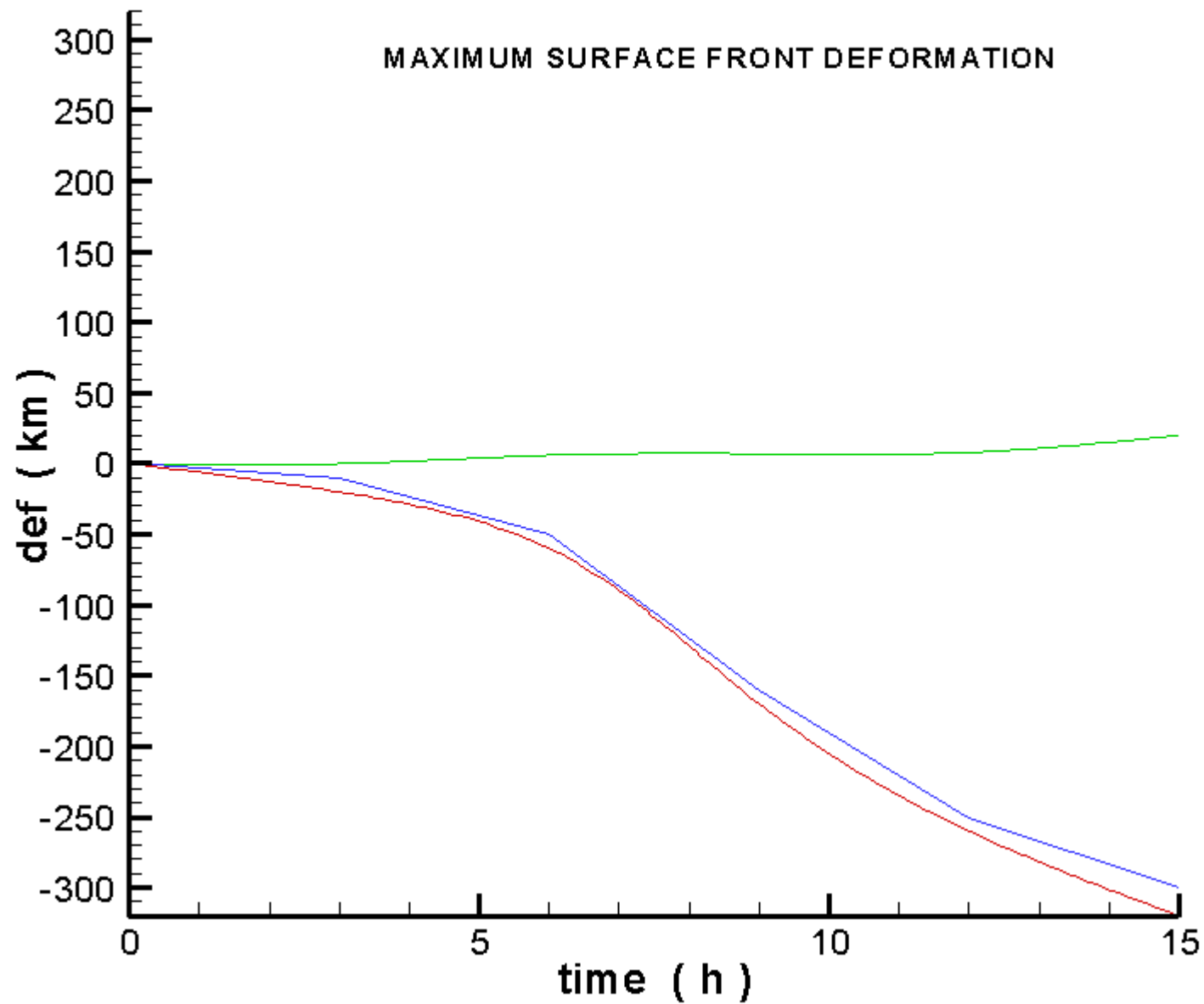




COLD FRONT PROPAGATION
(Schumann, 1987)

PHYSICAL PARAMETERS

• Hm	2.5	2.5	km
• L	200.0	200.0	km
• Hf	4.5	9.0	km
• DeltaT	6.0	7.0	K
• U	12.0	10.0	m/sec
• V	40.0	15.0	m/sec
• C	30.0	45.8	m/sec
• R	300.0	458.0	km



СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

По имеющимся данным наблюдений недостающие для прогноза данные рассчитываются с помощью системы обработки информации.

Доказано , что для линеаризованной системы двумерной мелкой воды поля скоростей однозначно восстанавливаются по имеющимся данным о поверхности фронта во всех точках разностной сетки.

Линеаризованные уравнения мелкой воды:
пространственная дискретизация

$$\frac{\partial u_{ij}}{\partial t} + \frac{U_{ij}}{\Delta x} (u_{i+1,j} - u_{i-1,j}) + \frac{V_{ij}}{\Delta y} (u_{i,j+1} - u_{i,j-1}) - f v_{ij} + \frac{1}{\Delta x} (h_{i+1,j} - h_{i-1,j}) = 0$$

$$\frac{\partial v_{ij}}{\partial t} + \frac{U_{ij}}{\Delta x} (v_{i+1,j} - v_{i-1,j}) + \frac{V_{ij}}{\Delta y} (v_{i,j+1} - v_{i,j-1}) + f u_{ij} + \frac{1}{\Delta y} (h_{i+1,j} - h_{i-1,j}) = 0$$

$$\frac{\partial h_{ij}}{\partial t} + \frac{U_{ij}}{\Delta x} (h_{i+1,j} - h_{i-1,j}) + \frac{V_{ij}}{\Delta y} (h_{i,j+1} - h_{i,j-1}) + \frac{H_{ij}}{\Delta x} (u_{i+1,j} - u_{i-1,j}) + \frac{H_{ij}}{\Delta y} (v_{i,j+1} - v_{i,j-1}) = 0$$

$$\frac{dX}{dt} = AX \quad X = (u, v, h), \quad A = \begin{pmatrix} A_{uu} & A_{uv} & A_{uh} \\ A_{vu} & A_{vv} & A_{vh} \\ A_{hu} & A_{hv} & A_{hh} \end{pmatrix} = \text{матрица } n \times n$$

Целевая функция $r(X_0) = (W(CX(X_0) - X_{obs}), CX(X_0) - X_{obs})$

Методы стохастического спуска
для решения многомерных краевых задач.

Стохастические методы
решения больших систем уравнений
на основе рандомизации вычисления
спектрального разложения матриц.

$$\text{rank} [C^t, A^t C^t, \dots, (A^t)^{n-1} C^t] = n$$

Достаточное условие для положительной определенности Гессиана.

Модель атмосферного фронта на основе уравнений мелкой воды

Переменные:

u, v, h

Дискретизация:

центральные разности для u, v
односторонние разности для h

Теорема:

Пусть система линейна
и для h имеются данные
измерений во всех точках
сетки

Тогда u, v, h однозначно
восстанавливаются

REFERENCES

Yudin, M. S., Wilderotter K.,
2006, Simulating atmospheric flows in the vicinity of a
water basin , Computational Technologies, vol. 11, No.3, pp.
128-134.

Yudin , M.S.
Numerical simulation of orographic waves// Bull. Nov. Comp. Center, Num.
Model. in Atmosph., – 1995. – V.2. – P. 101–107.

Ritchie, H.
Semi-Lagrangian advection on a Gaussian grid// Mon. Wea. Rev. – 1987 – V.
115. – P. 136–146.

Крупчатников , В.Н , Фоменко, А.А.
Полулагранжева полуявная схема переноса в климатической модели
ECSib– Препринт ИВМиМГ. – 1997. – 20 с.

Schumann, U.
Influence of mesoscale orography on idealized cold fronts // J. Atmos. Sci . –
1987. – V.44, P.3423-3441.

Пененко, В.В. Методы численного моделирования атмосферных
процессов.—Л.: Гидрометеоиздат.—1981.—352с.