



Численное моделирование штормовых условий на Черном море

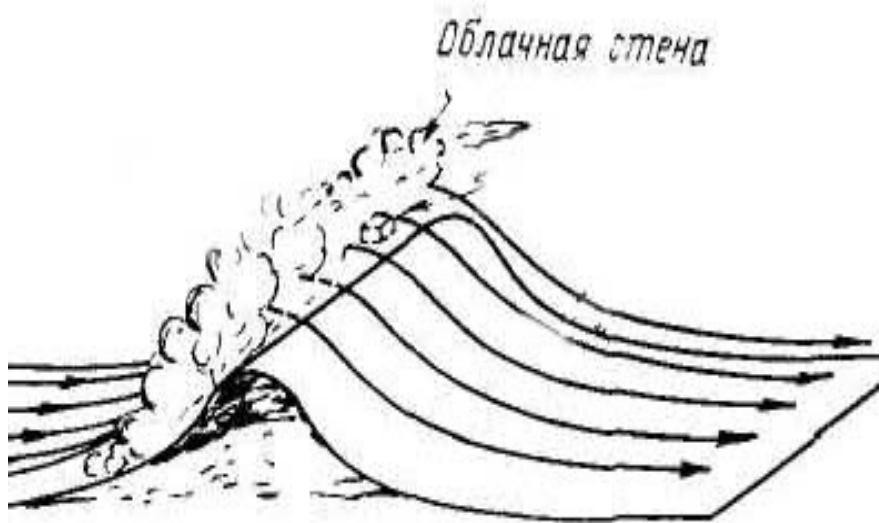
Торопов П.А., Мысленков С.А.

Иркутск, 23 июня -2 июля, 2012

План доклада:

- ❑ Бора по данным экспедиционных наблюдений
- ❑ Успешность диагноза новороссийской боры с помощью модели WRF-ARW на качественном уровне. Бору ли мы воспроизводим?
- ❑ Количественные оценки точности диагностики метеорологических условий при боре
- ❑ Оценка параметры гравитационных волн, возникающих при боре
- ❑ Пример практического использования результатов: расчет ветрового волнения

Бора: определение явления и гипотезы возникновения.



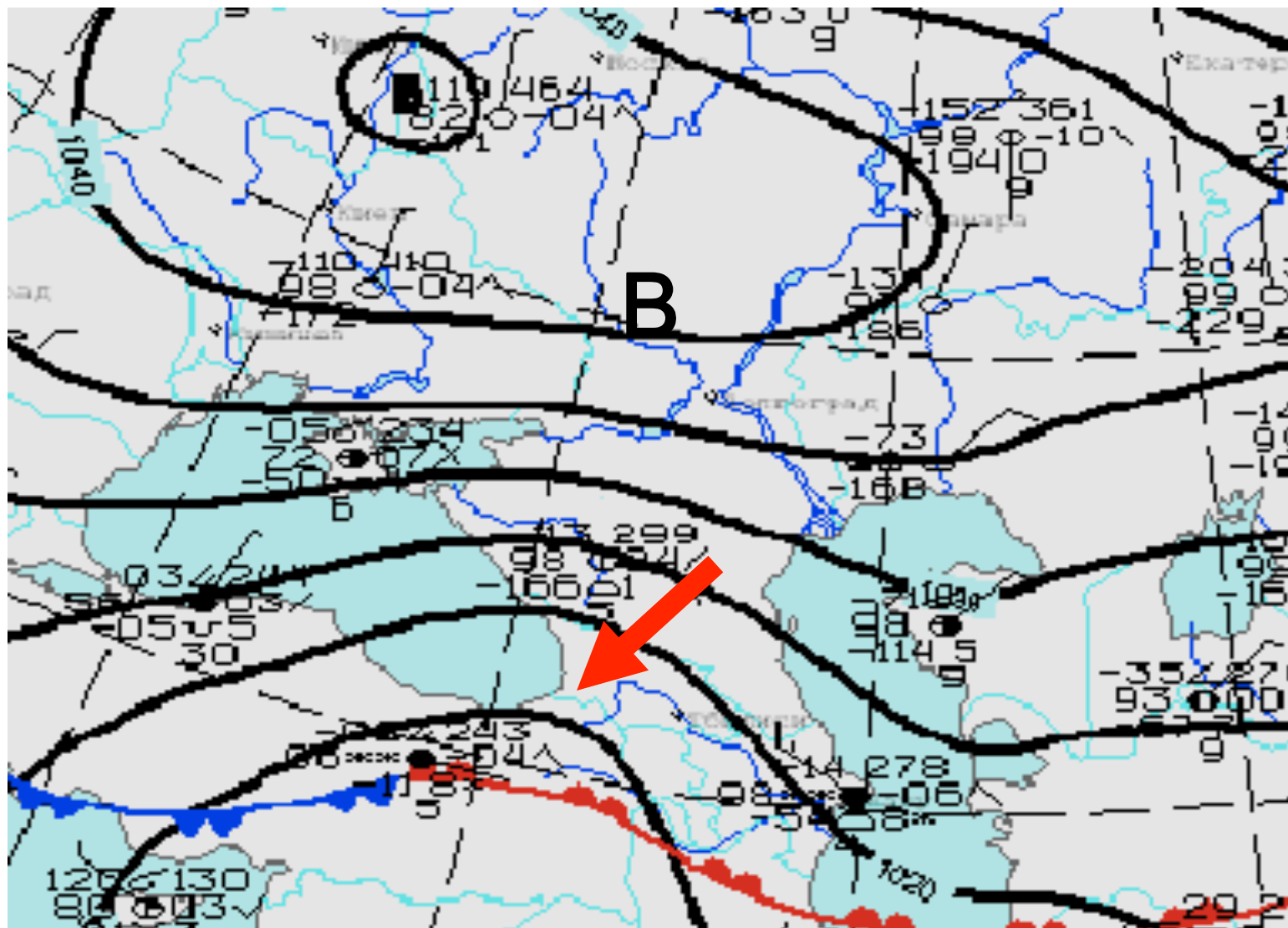
Бора – результат адаптации крупномасштабного потока холодного воздуха к орографическим неоднородностям. Называют также «холодным фёном», или «падающим циркуляциям» (downslope wind)

Гипотезы возникновения:

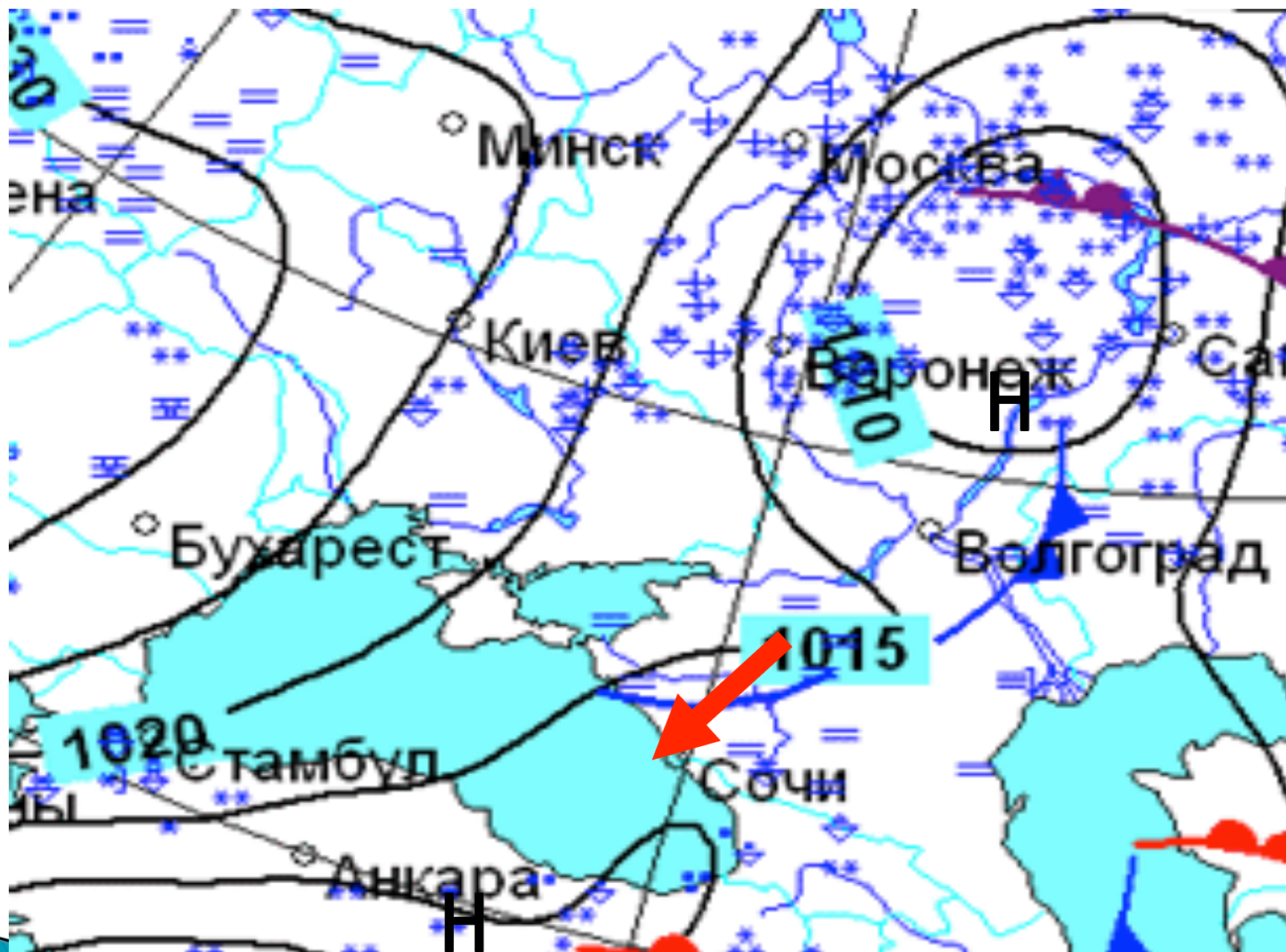
Гидравлическая – поток ограничен инверсией, вблизи вершины препятствия он становится сверхкритическим

Волновая – бора, то есть усиление ветра на подветренном слое является следствием обрушения гравитационных волн

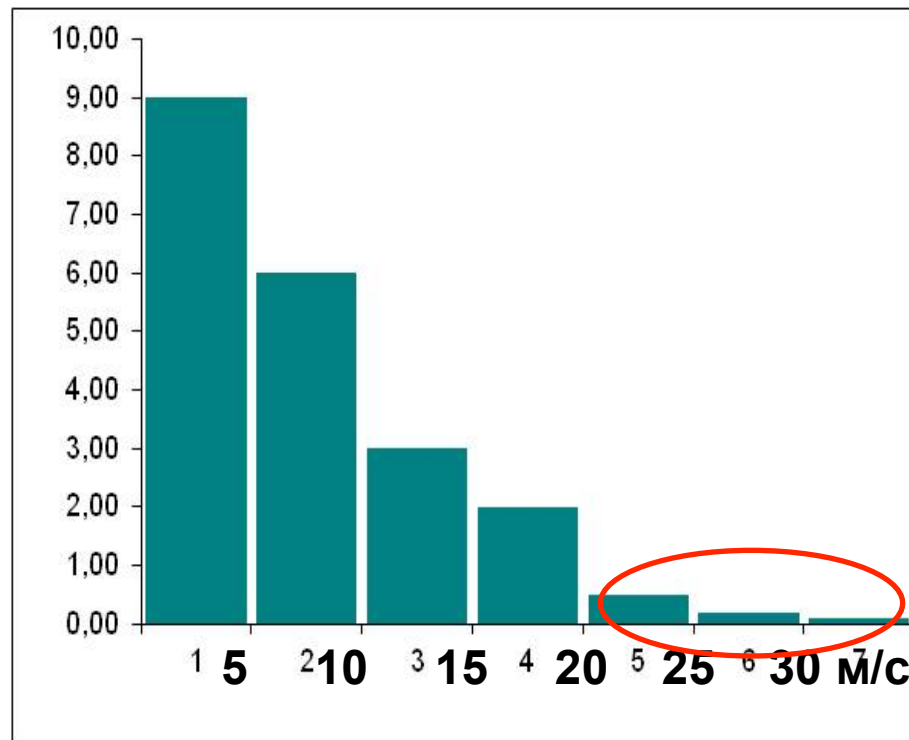
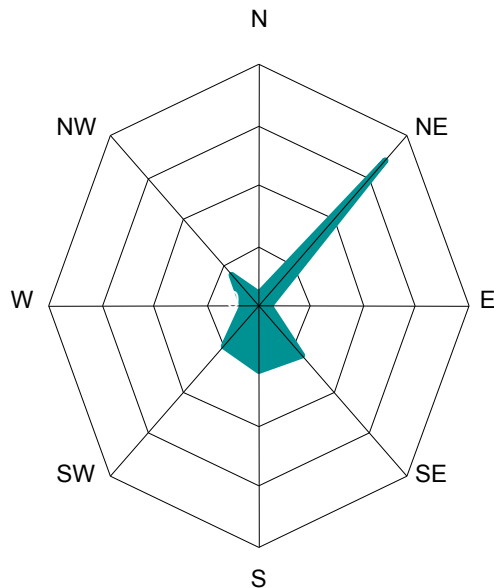
Пример антициклонической боры (04.02.2005)



Пример циклонической боры (05.02.2006)



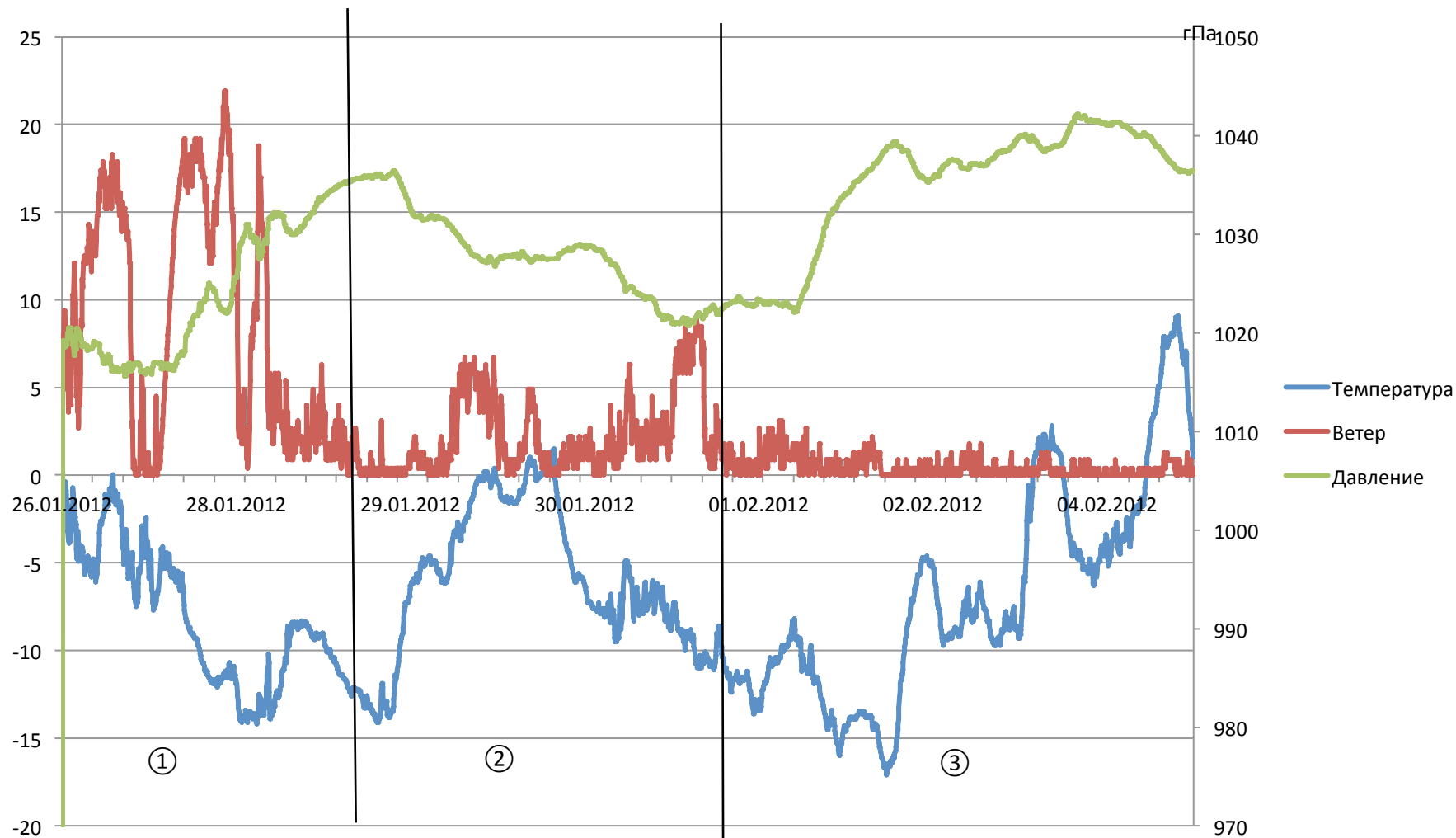
Климатология явления



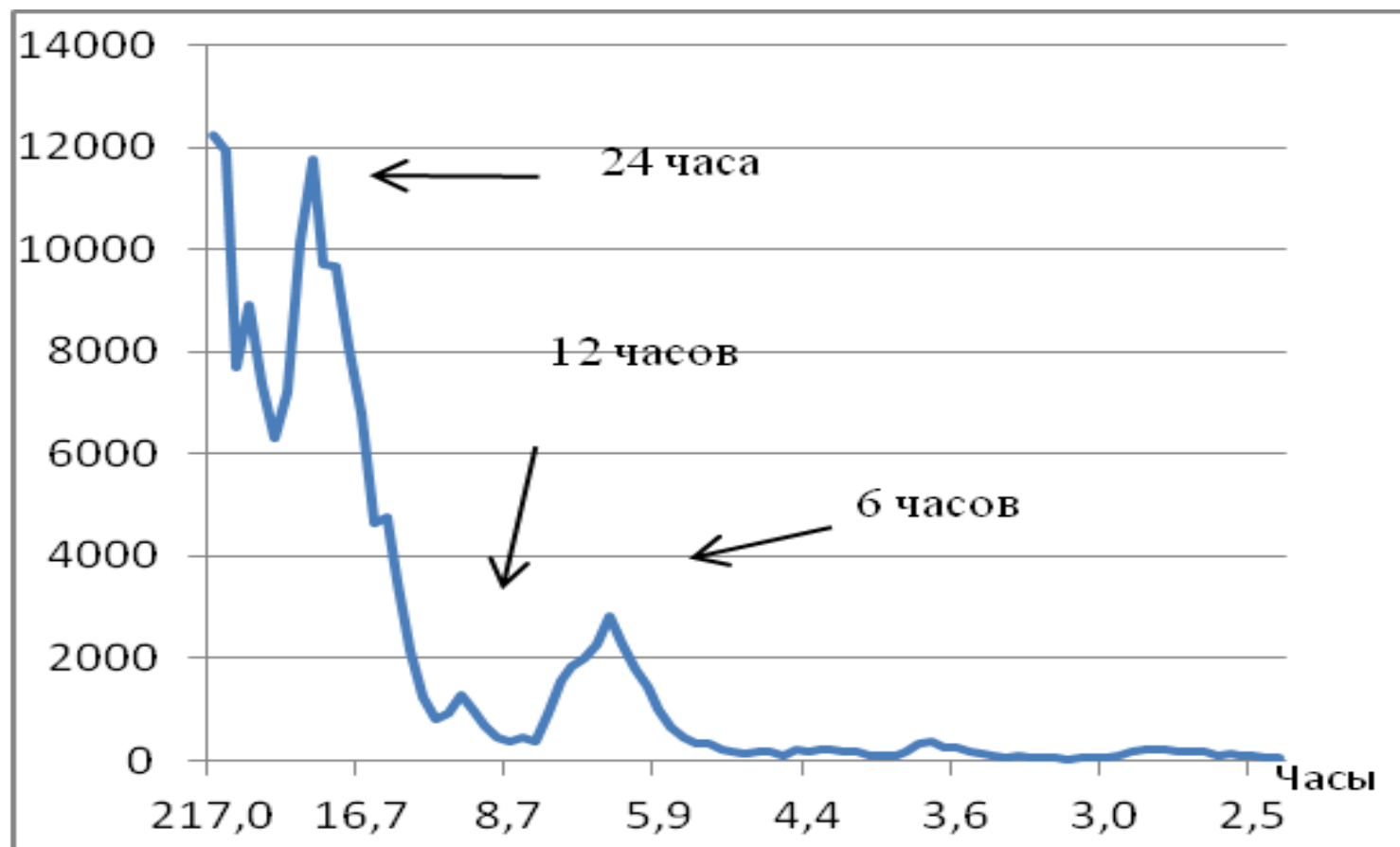
В среднем, бора наблюдается 45 дней в году, из них в течение 10 дней скорость ветра достигает штормовой силы (>20 м/с), а 1 день – ураганной (>33 м/с)

Один раз в 10 лет в Новороссийске случается катастрофическая бора (>45 м/с), которая приводит к значительным разрушениям и человеческим жертвам

➤ Пример временного хода метеорологических величин во время бory (Геленджик, январь–февраль 2012)



Пример спектрального анализа температуры воздуха в районе Геленджика во время бory



Выбранная конфигурация WRF-ARW и описание эксперимента

параметризация микрофизических процессов в облаках по схеме Томпсона

параметризация коротковолновых потоков радиации по схеме RRTM (Rapid Radiation Transfer Model)

параметризация длинноволновых потоков радиации по схеме Годдарда

параметризация турбулентности в приземном слое в соответствии с теориями Молина-Обухова и Зилитинкевича;

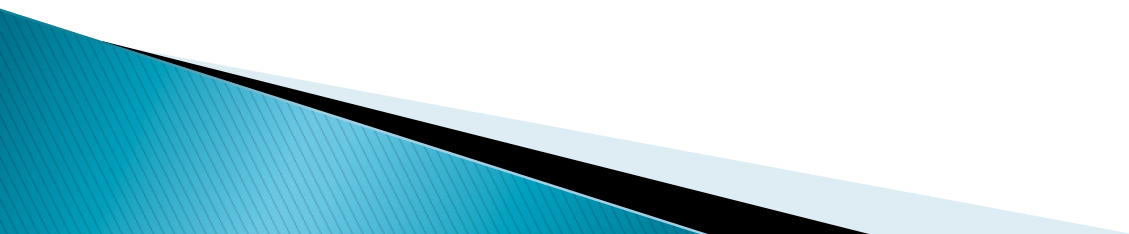
параметризация подстилающей поверхности по схеме NCEP/NCAR

параметризация планетарного пограничного слоя по схеме Меллора-Ямады-Жанжина

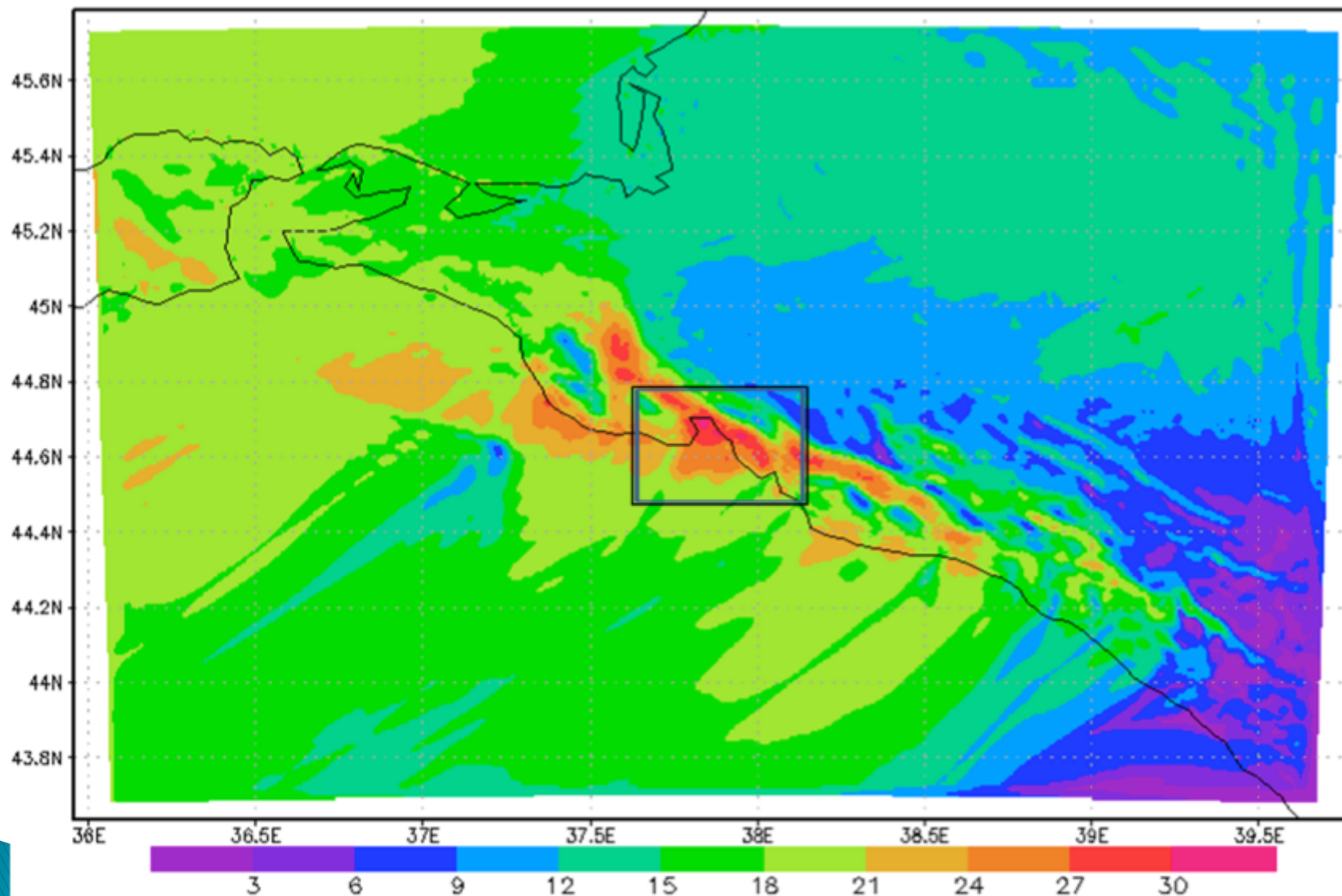
Начальное время	разрешение	Кол-во уровней	Время интегрирования	Начальные данные	Счетный ресурс
26.01.0:00	2 км	27 (от 0 до 4 км)	72 часа	Анализ FNL (разрешение 1°, каждые 6 часов)	Altix, Гидрометцентр 256 процессоров

I. Качественная оценка

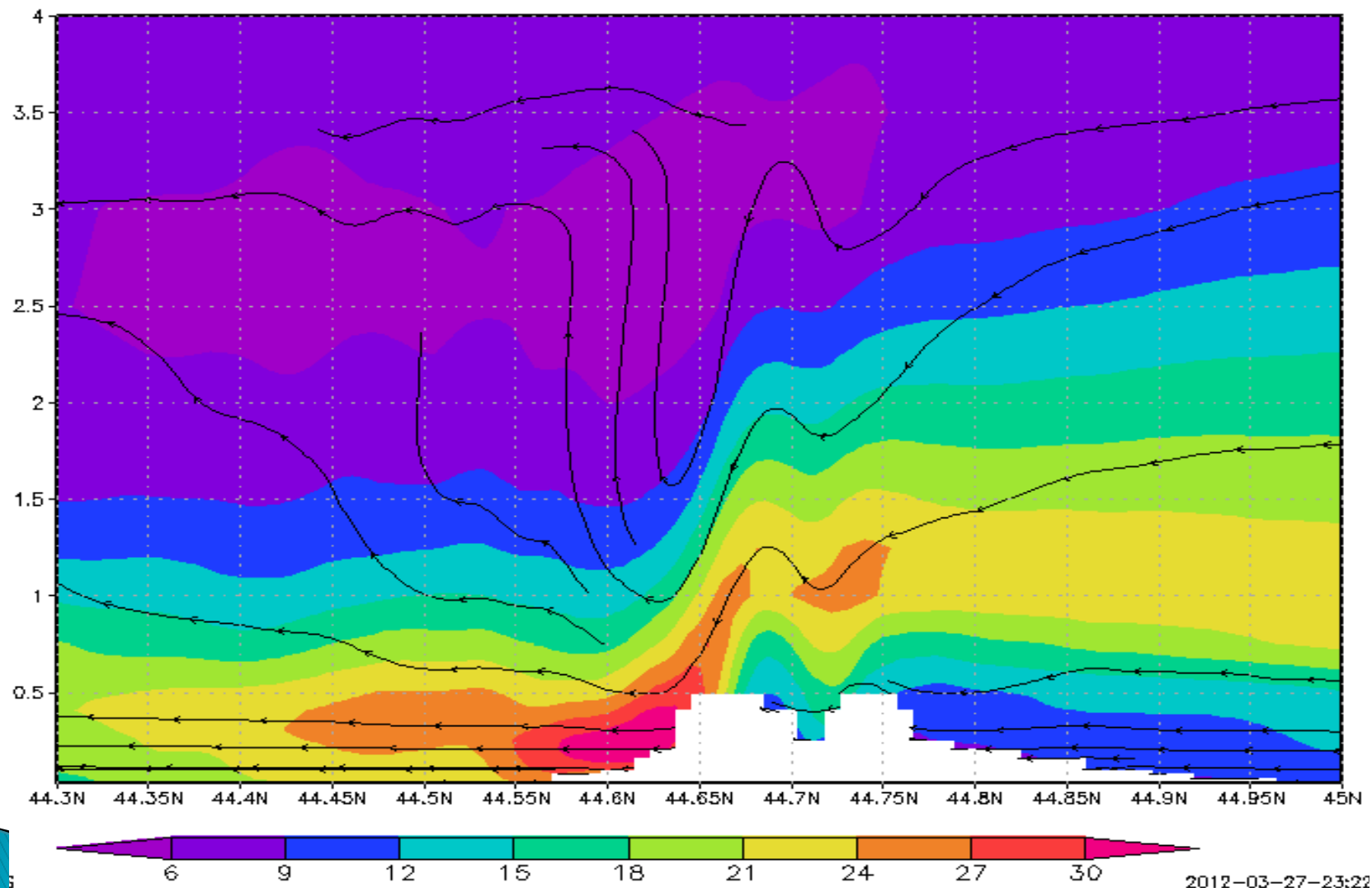
Воспроизводим ли мы бору?



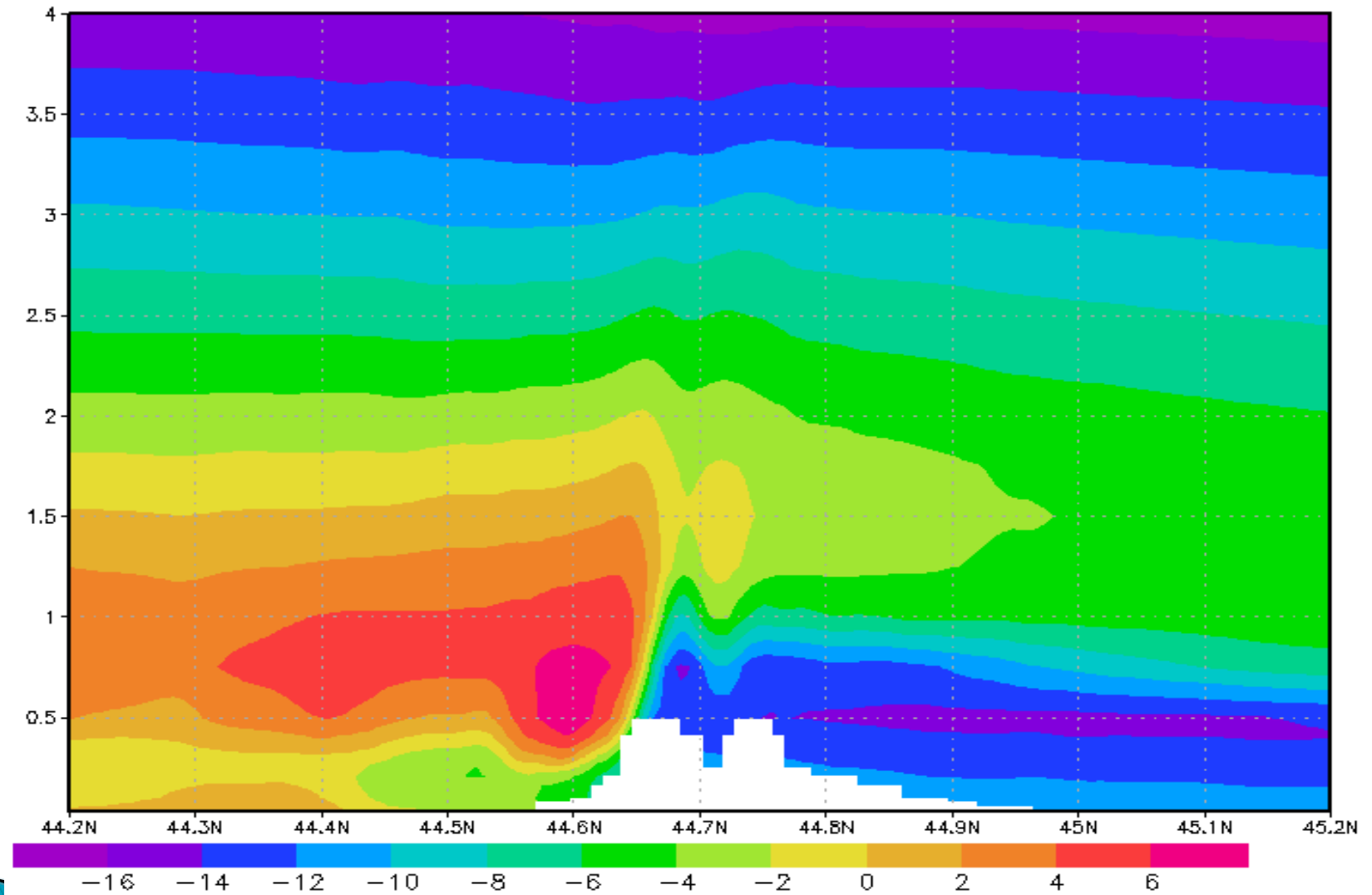
Пространственная структура норд-оста (26.01.2012)



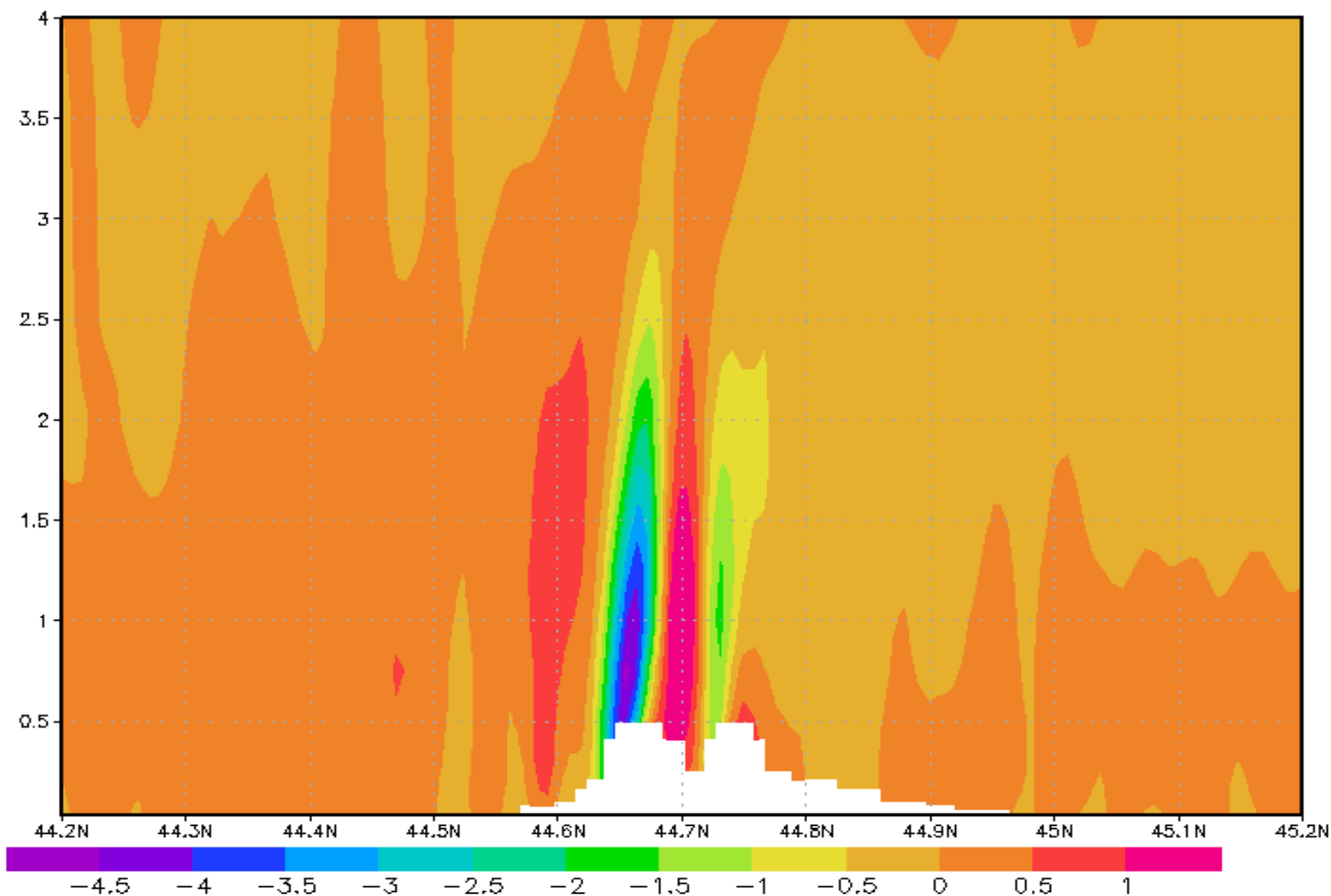
Вертикальный разрез скорости ветра по результатам WRF-ARW (26.01.2012)



Вертикальный разрез температуры по результатам WRF-ARW (26.01.2012)



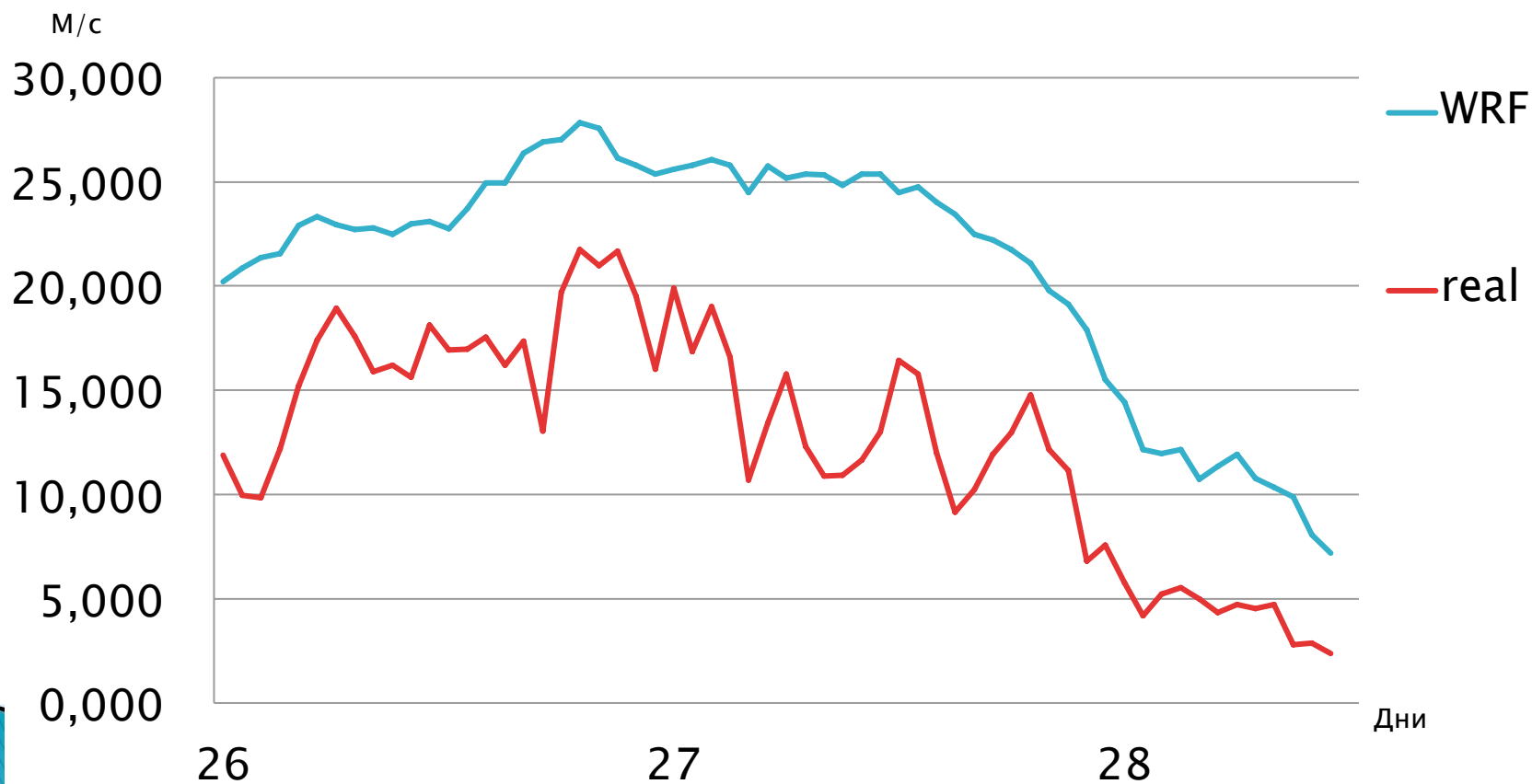
Разрез вертикальной компоненты скорости по результатам WRF-ARW (26.01.2012)



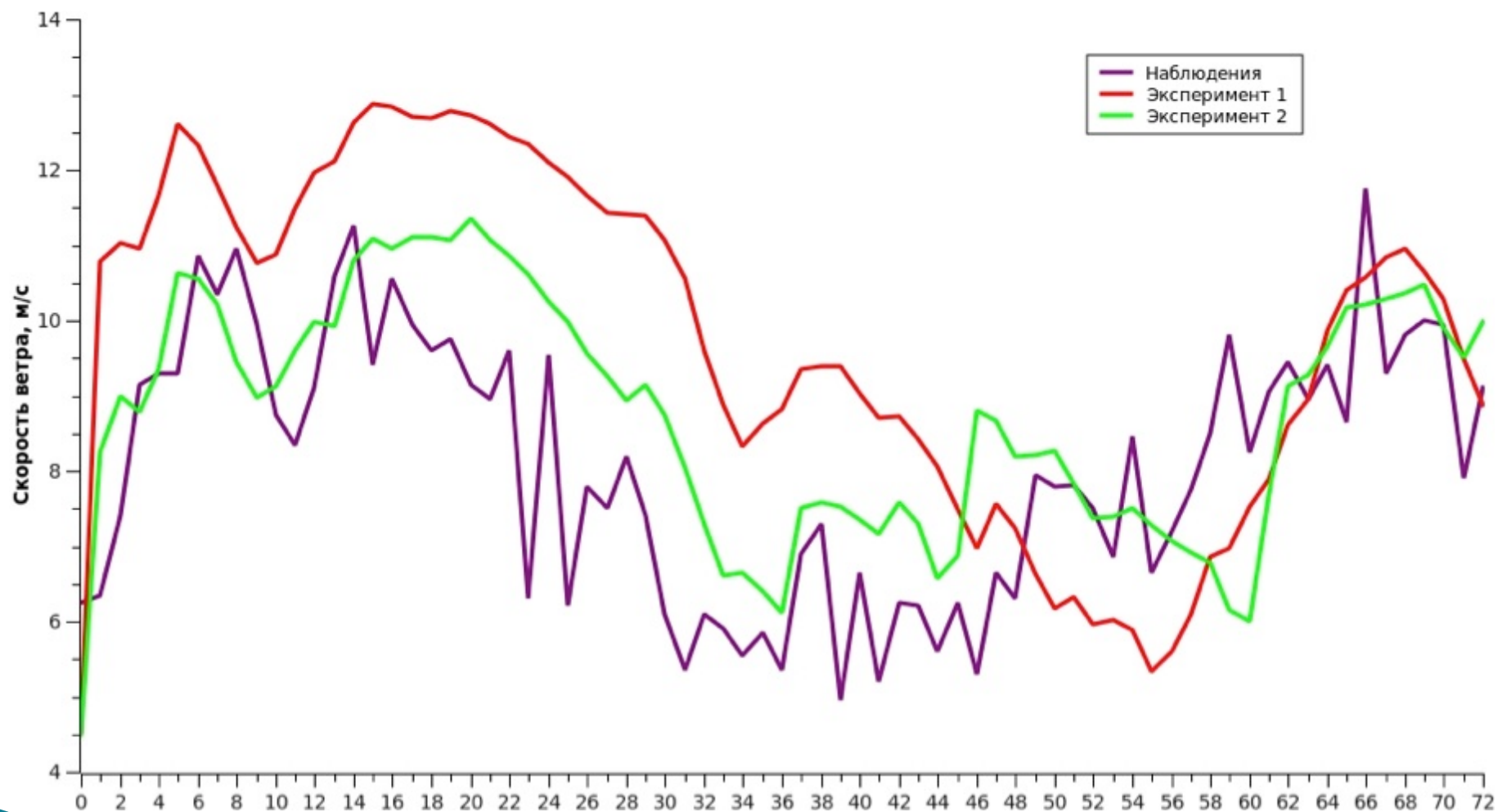
II. Количественные оценки точности



► Сравнение «осредненных» значений по области



Оценка в точках станций в 2011



Сравнение с экспериментами 2011 года

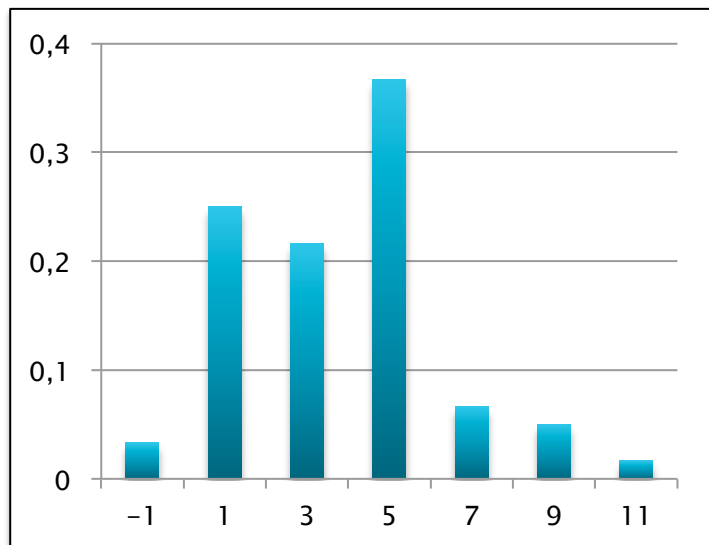
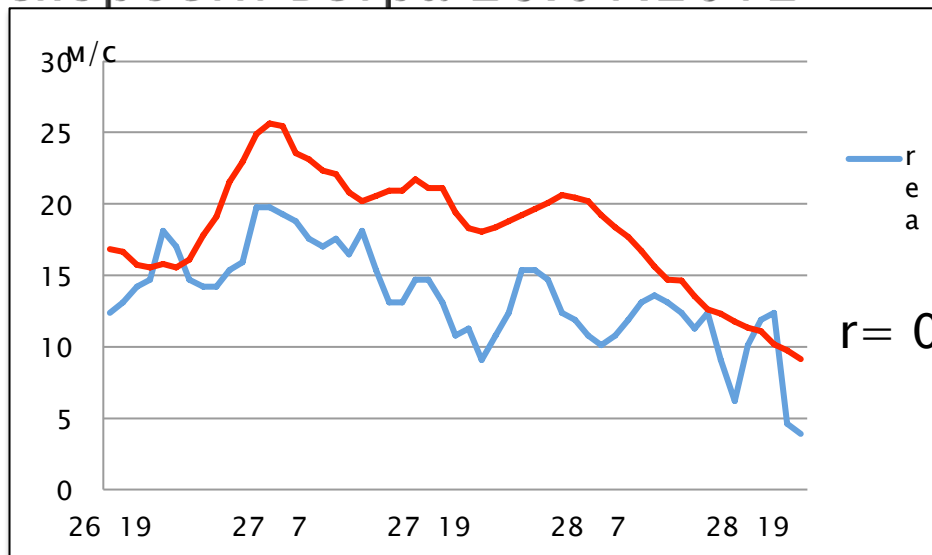
Основные характеристики погрешности прогноза боры 2011 года

	Средняя ошибка	Максимальная ошибка	Корреляция с наблюдениями
Эксперимент 1	1,7	6,0	0,5
Эксперимент 2	0,7	4,3	0,7

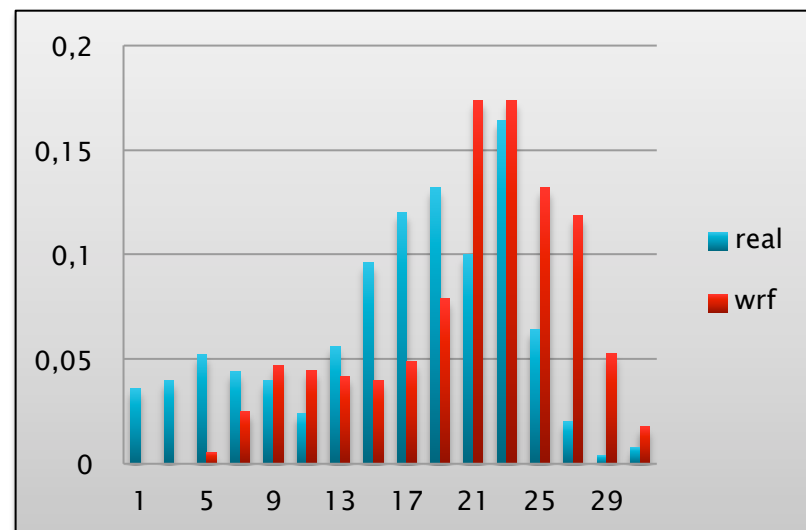
Основные характеристики погрешности прогноза боры 2012 года

	Средняя ошибка	Макс. ошибка	Корреляция с наблюдениями
Эксперимент 1	7,5	14,6	0,9
Эксперимент 2	3,8	10,4	0,5
Эксперимент 3	9,8	20	0,8

Примеры оценок расчетов скорости ветра 26.01.2012

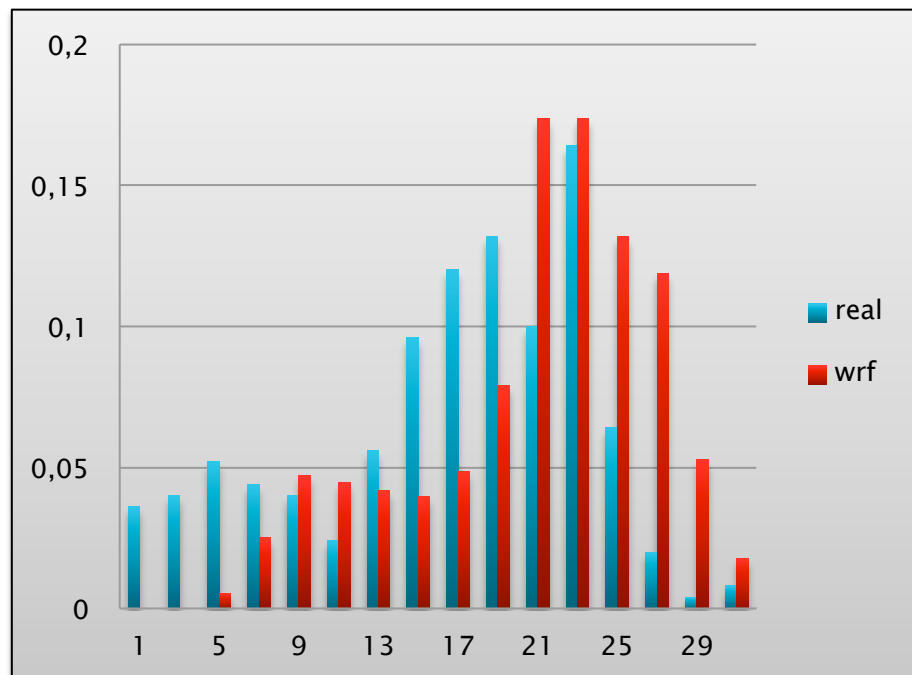


Функция распределения ошибок прогноза скорости ветра



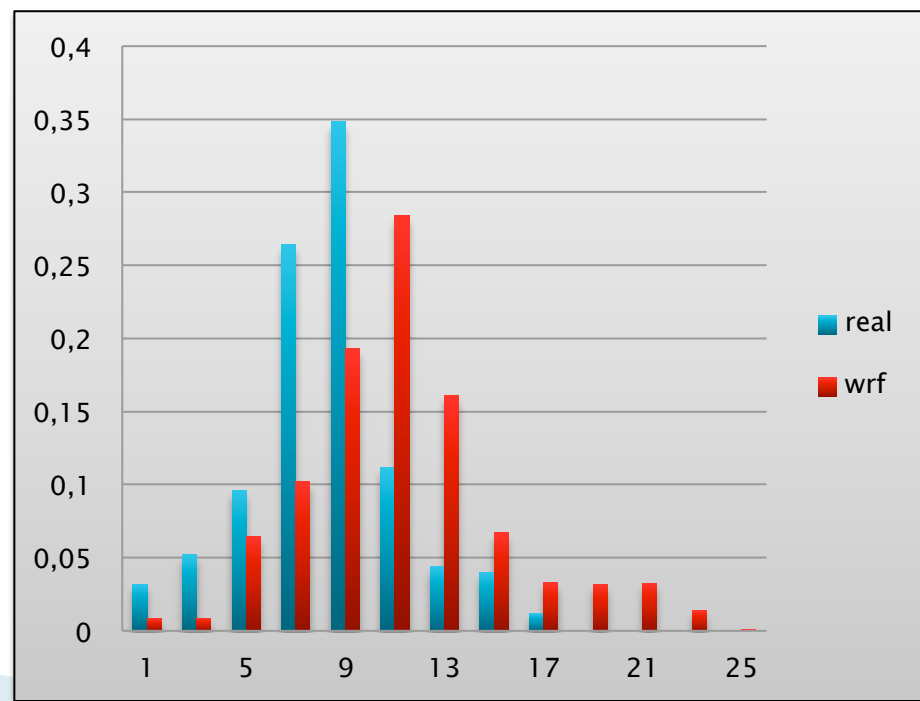
Пространственная функция распределения скорости ветра

Эмпирические функции распределения по пространству модельных и фактических значений скорости ветра



44 часа (кульминация боры)

60 часов (затухание боры)



III. Попытка физической интерпретации некоторых результатов моделирования



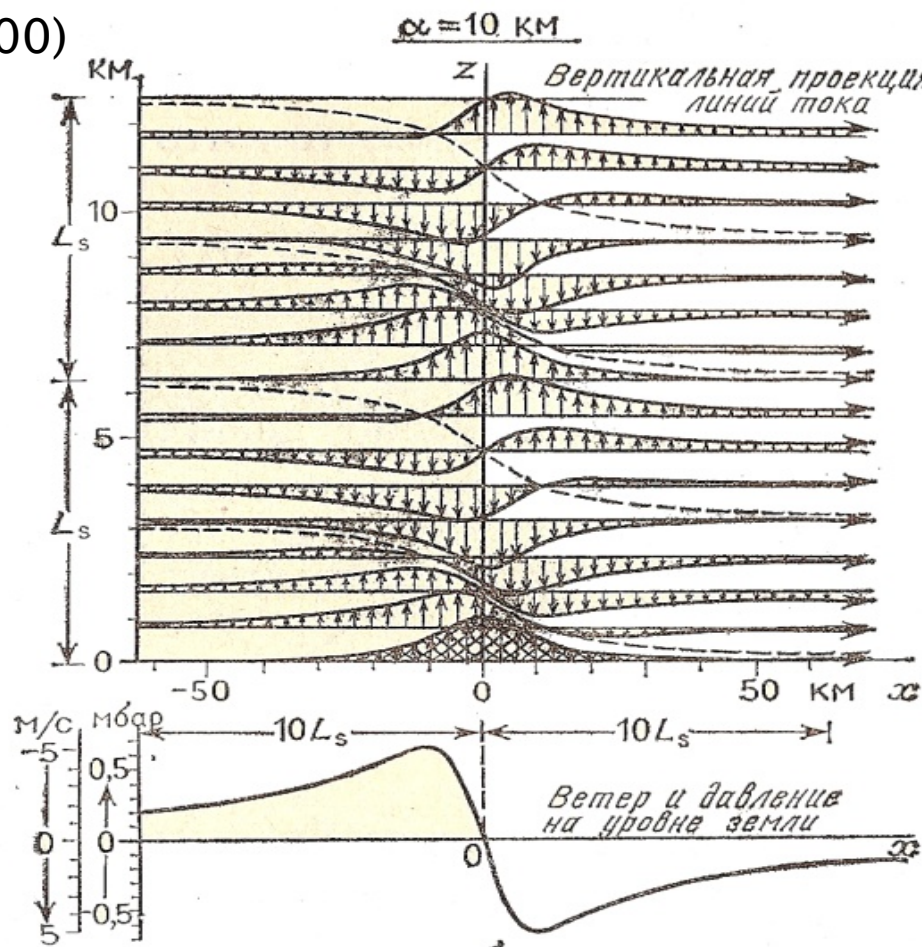
В атмосфере внутренние гравитационные волны возникают при

$$U/N < L < U/f$$

По классификации режимов обтекания препятствия воздушным потоком, приведенной в работе А.Гилла, случай новороссийской боры соответствует режиму невращательного гидростатического обтекания (N/f велико, т.е. > 100)

Типичные значения:

- U/N порядка 0,5 км
- U/f порядка 100 км
- N/f порядка 200 км
- L порядка 10 км



Основные параметры, которые оценивались по результатам моделирования

- Число Фруда

$$Fr = \frac{u^2}{gh \Delta\theta / \theta_0}$$

- Масштаб Лира (длина волны)

$$\lambda_c = 2\pi U / N$$

- Частота Вайсяля–Брента

$$N = \sqrt{\frac{g}{\theta}} \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

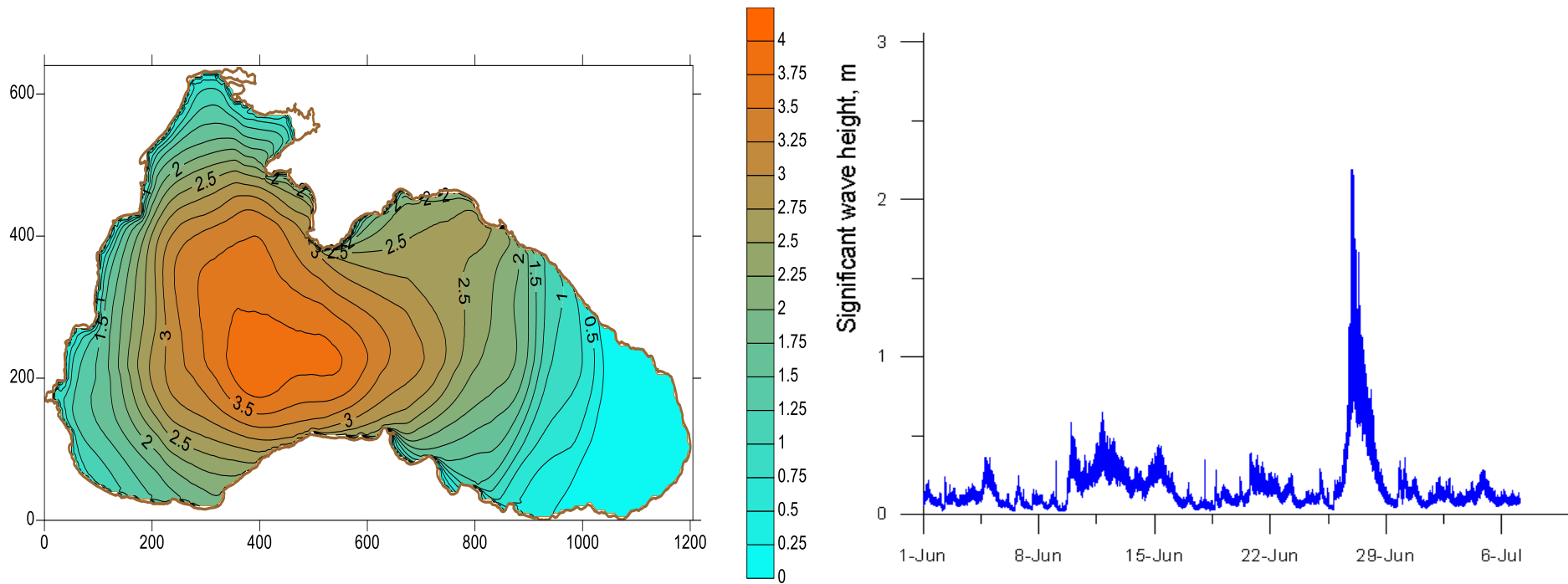
Основные характеристики потока и волн над хребтом для 4-х случаев

Случай	N	U / N (км)	Fr	λ теоретич(км)	λ эмпирич(км)
1 эксперимент 37 час	0,02	1,25	3	8	9 - 10
1 эксперимент 67 час	0,02	0,8	1,3	5	6 - 8
3 эксперимент 41 час	0,02	1,4	3,9	9	8 - 9
3 эксперимент 72 час	0,02	0,85	1,4	5	7 - 8

Analysis of wind wave in Black Sea by Spectral wave model SWAN

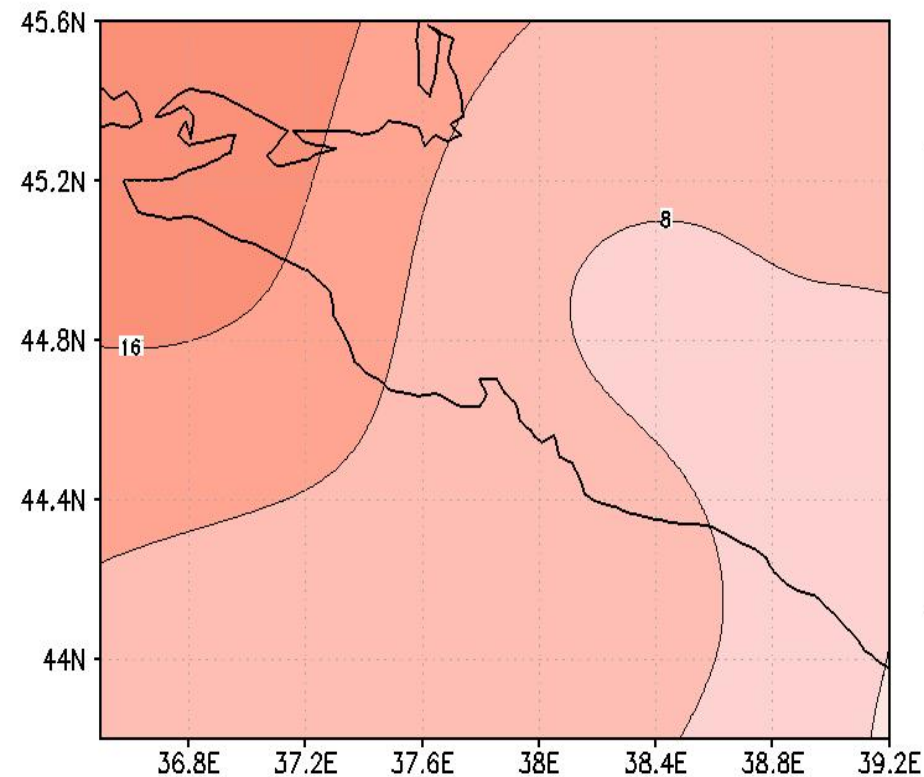
Bathymetry of Black Sea
5x5 km

NCEP-NCAR
~1,9x1,9; 4-daily; 1948-2010

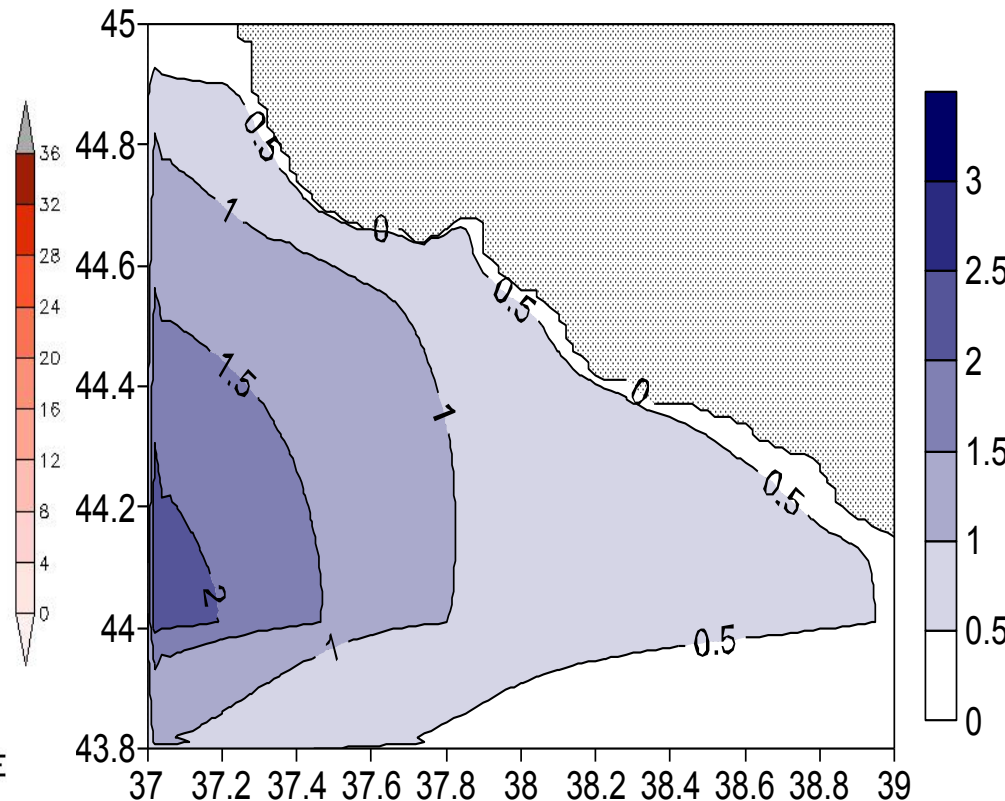


Black Sea Storm June 2011: Wave sensor data (Gelendjik) and results of Swan modeling

Моделирование высоты волны с помощью модели SWAN на основе результатов анализа FNL (50x100 км) 26.01.2012

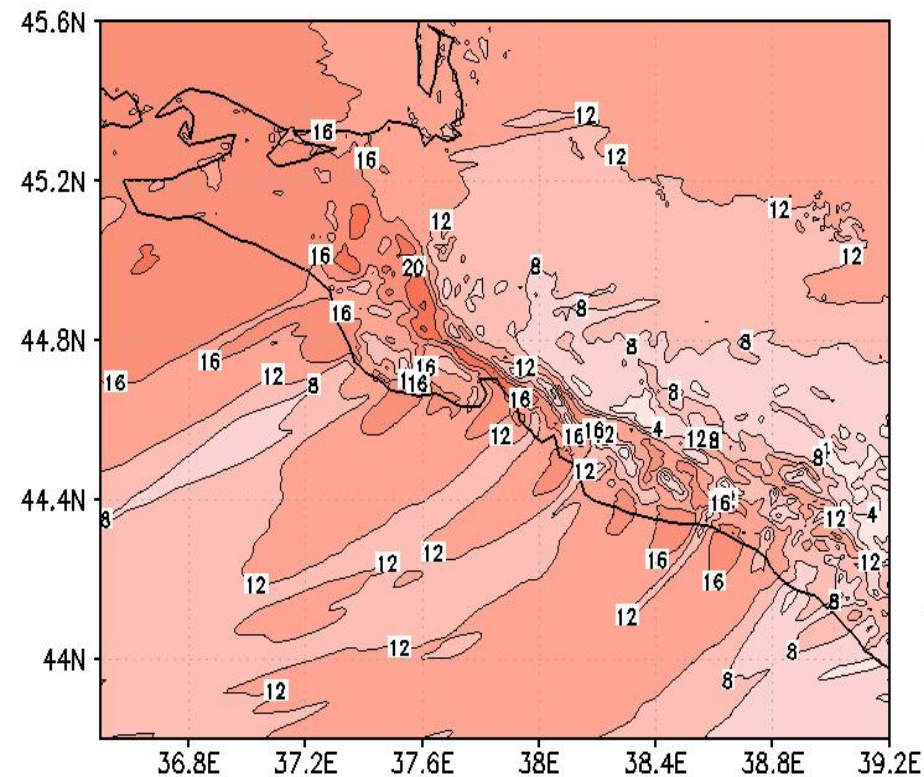


Модуль скорости ветра (FNL)

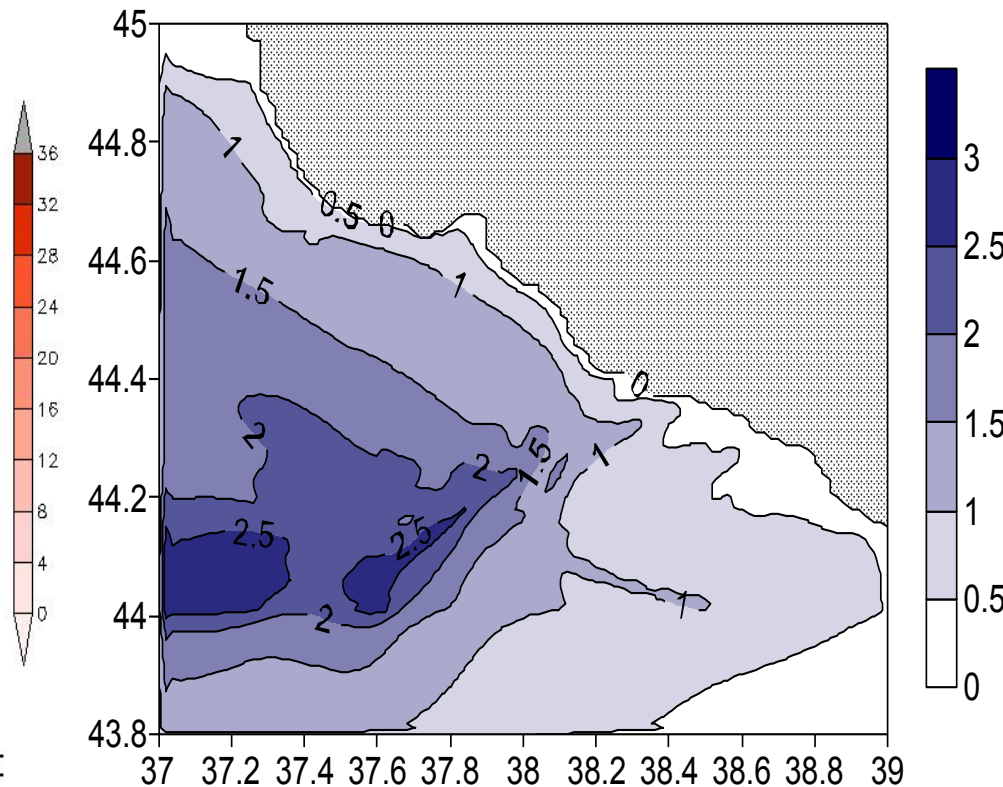


Высота волны по данным SWAN

Моделирование высоты волны с помощью модели SWAN на основе результатов модели WRF-ARW (2x2 км) 26.01.2012



Модуль скорости ветра (WRF-ARW)



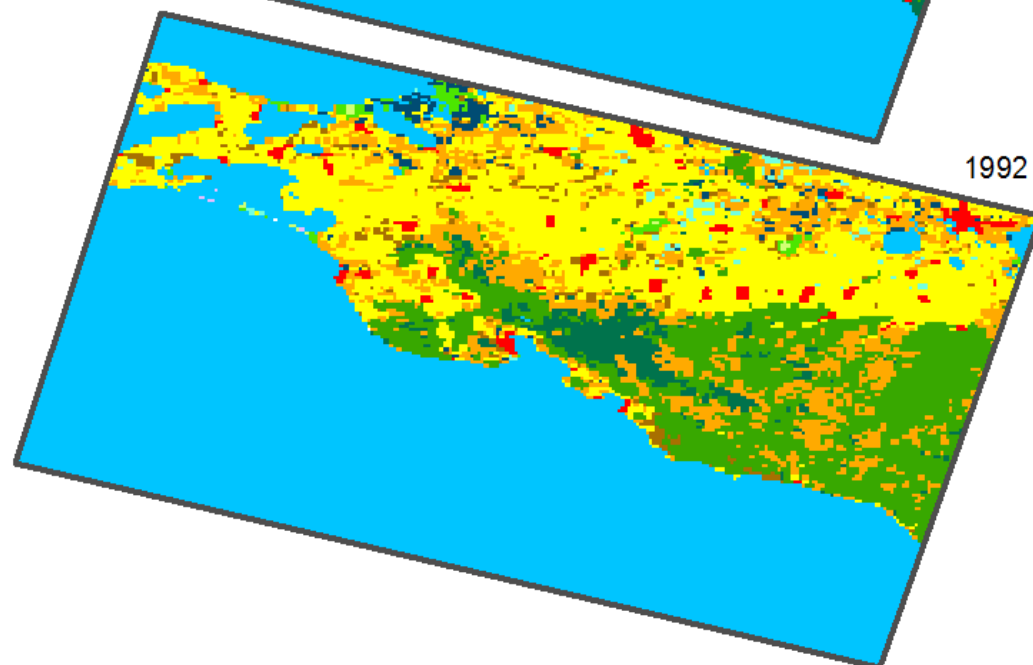
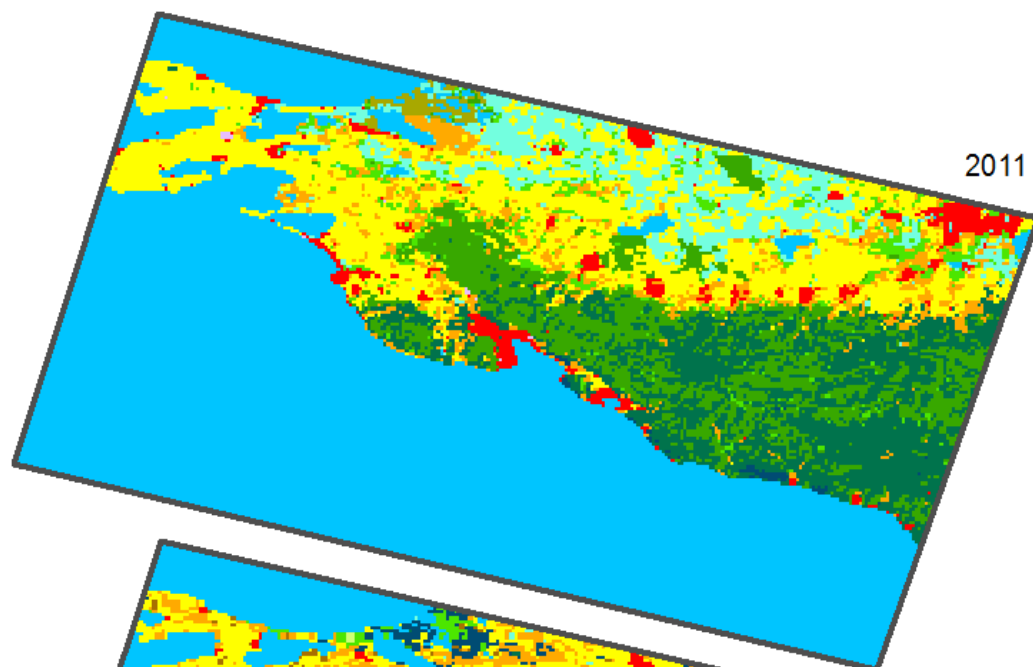
Высота волны по данным SWAN

Основные результаты

- ▶ Можно с уверенностью констатировать, что модель WRF-ARW воспроизводит именно бору, так как вертикальная и пространственная структура явления соответствует норд-осту
 - ▶ Модель воспроизводит колебания, схожие с гравитационными волнами, возбуждаемыми хребтами
 - ▶ Численный эксперимент без даунскейлинга и усвоения стационарных данных оказался хуже, чем эксперименты 2011 года с применением этих операций
- Модальные оценки скорости ветра по области оказались успешнее, чем «осредненный» прогноз

Спасибо за внимание

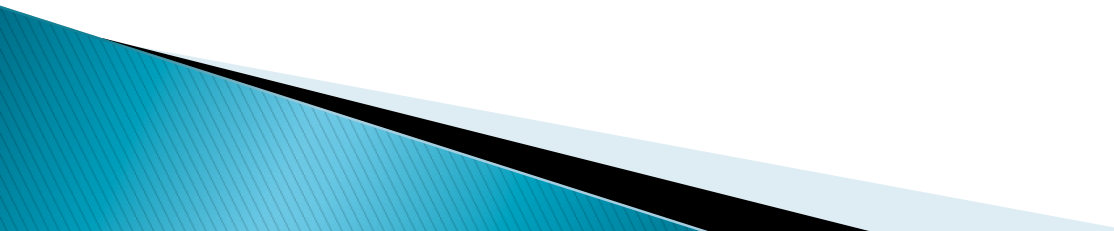
Уточнение подстилающей поверхности в WRF–ARW



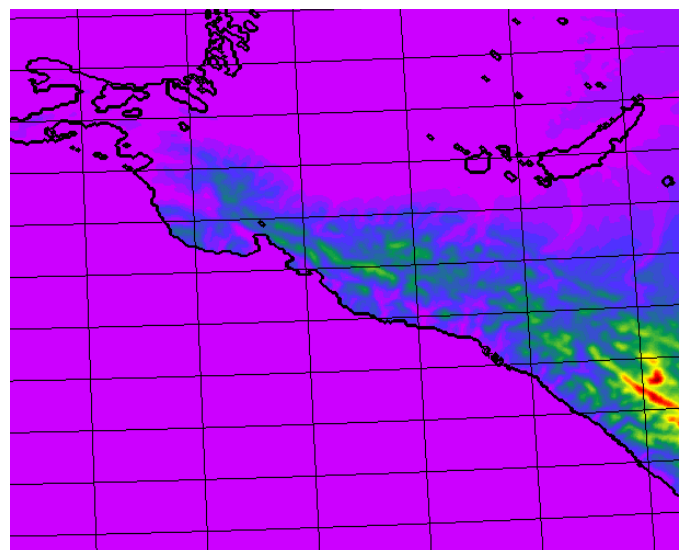
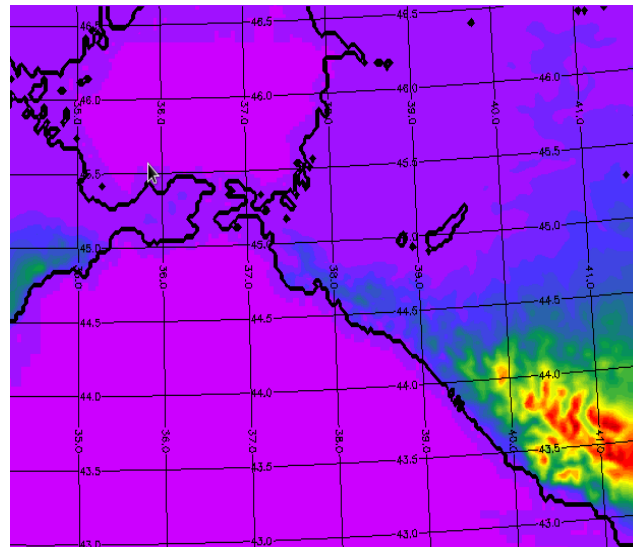
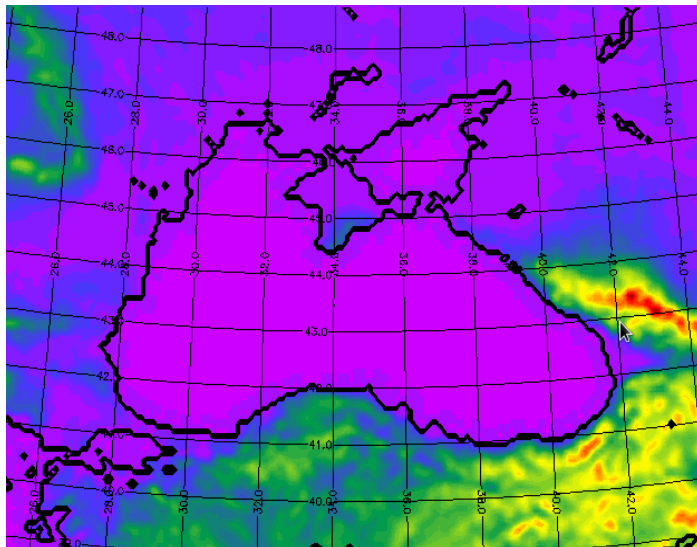
Тип подстилающей поверхности

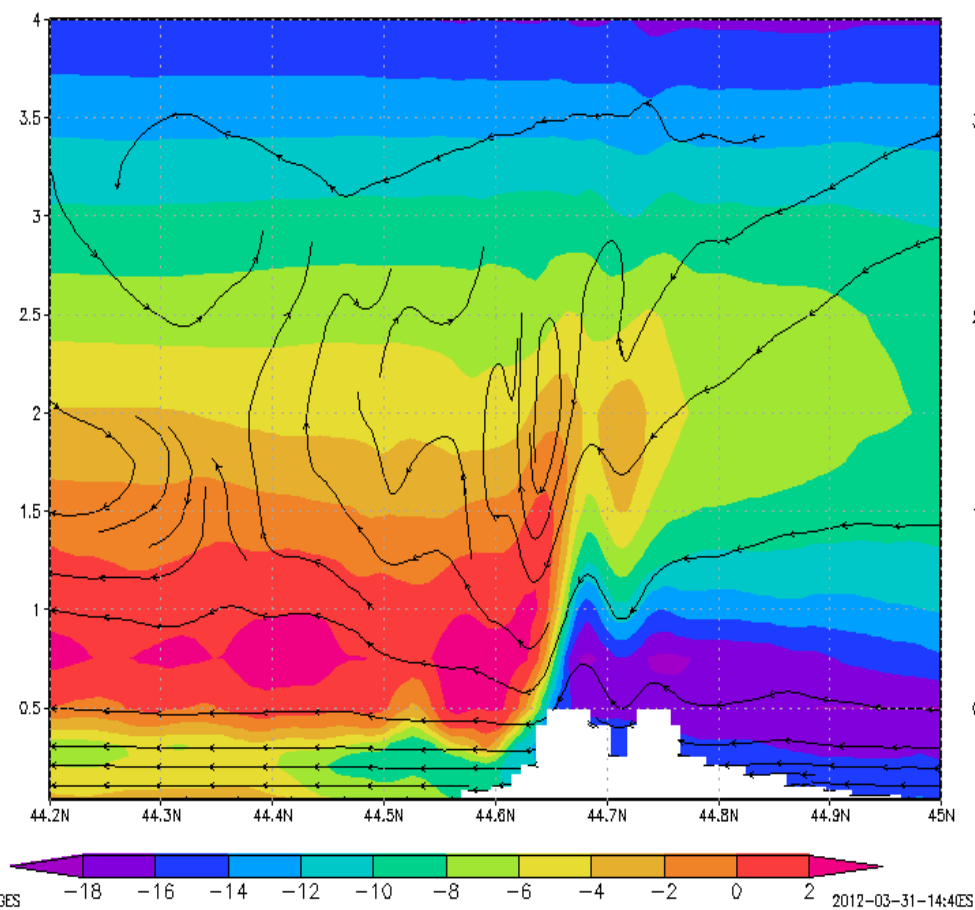
- Городская застройка
- Неорошаемое земледелие и пастбища
- Орошаемое земледелие и пастбища
- Земледелие и луга вперемежку
- Земледелие и леса вперемежку
- Луга
- Заросли кустарников
- Леса лиственные листопадные
- Леса хвойные вечнозеленые
- Леса смешанные
- Водные объекты
- Болота травянистые
- Пустоши и редкая растительность

Конфигурация модели

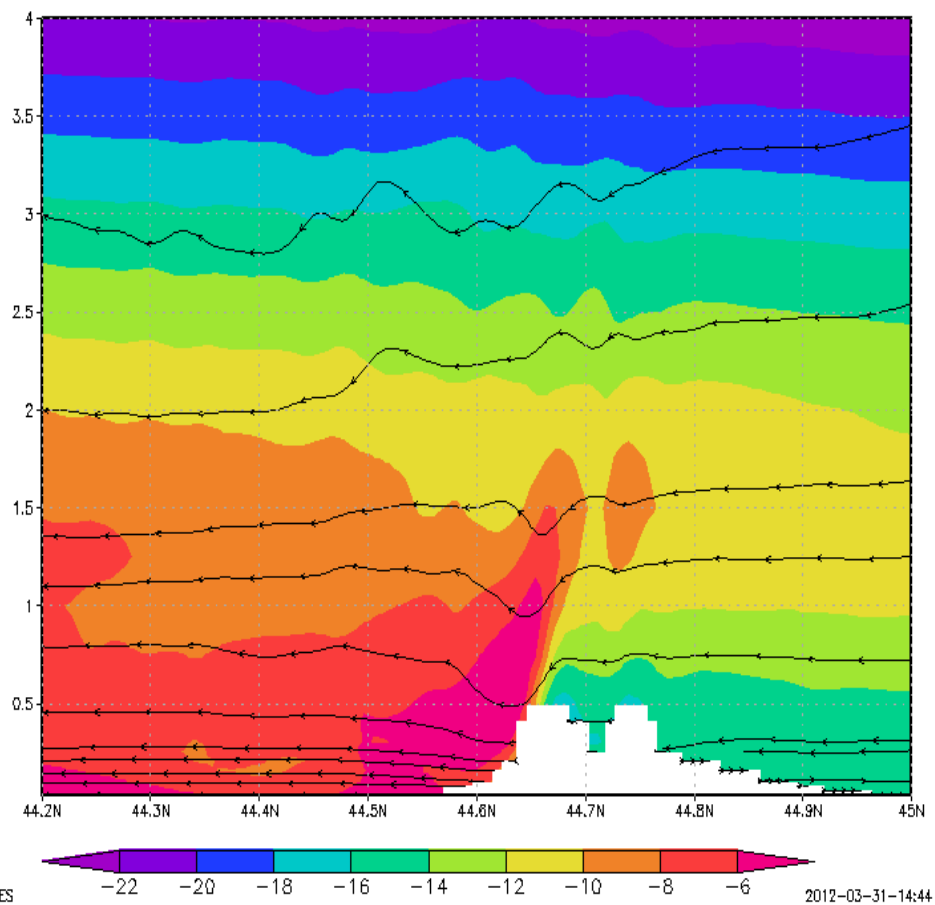
- негидростатичность
 - наличие 27 вертикальных уровней (верхняя граница на уровне 50 гПа)
 - параметризация микрофизических процессов в облаках по схеме Томпсона
 - параметризация коротковолновых потоков радиации по схеме RRTM (Rapid Radiation Transfer Model),
 - параметризация длинноволновых потоков радиации по схеме Годдарда
 - параметризация турбулентности в приземном слое в соответствии с теориями Монина-Обухова и Зилитинкевича;
 - параметризация подстилающей поверхности по схеме NCEP/NCAR, учитывающей температуру и влажность почвы на 4-х уровнях, а также поддерживающую снежный покров и замёрзшую почву
 - параметризация планетарного пограничного слоя по схеме Меллора-Ямады-Жанжина, рассчитывающей турбулентную кинетическую энергию и поддерживающую вертикальное перемешивание.
- 

Эксперименты с «дочерними» областями и с усвоением станционных данных

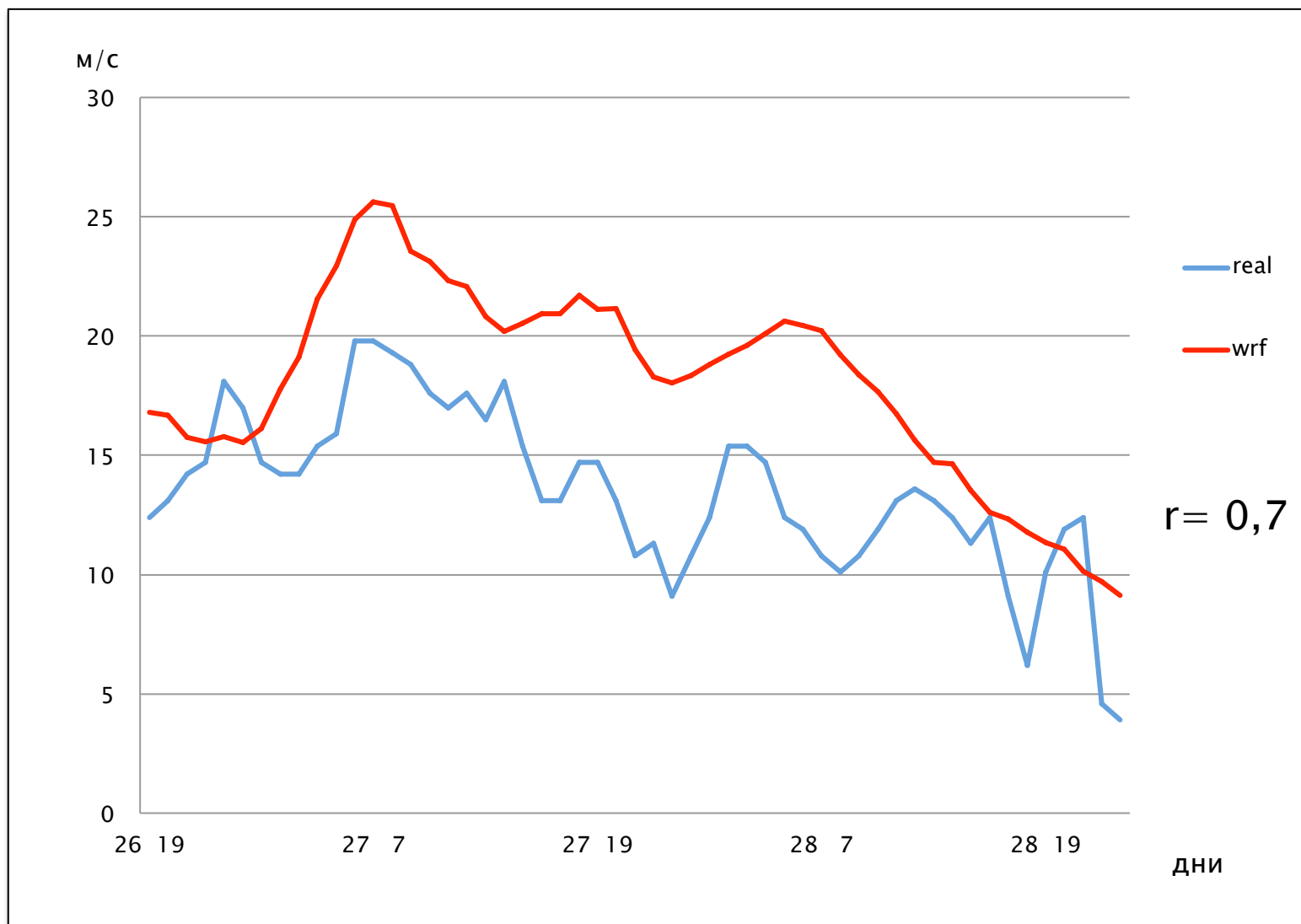




3 эксперимент 41 час

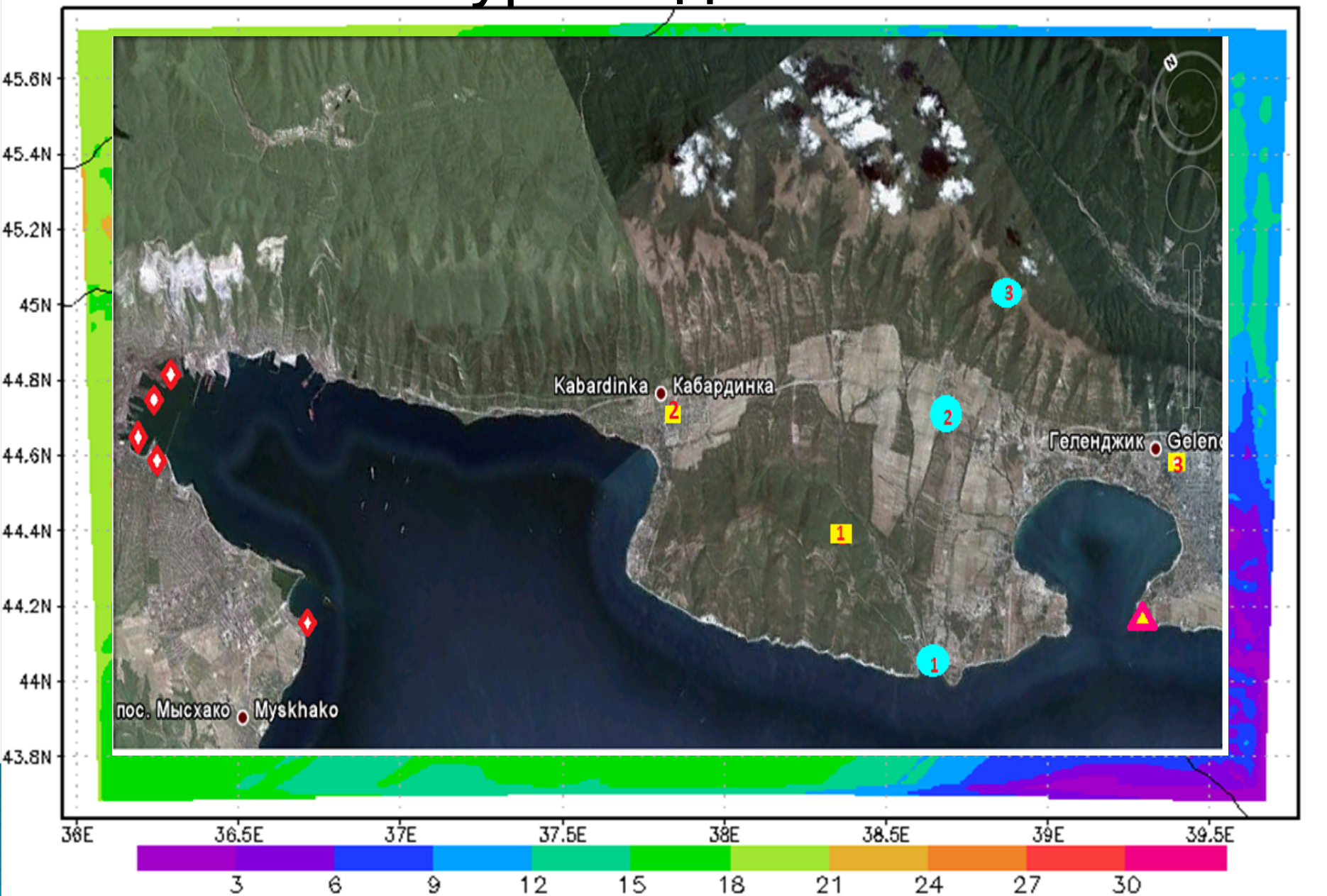


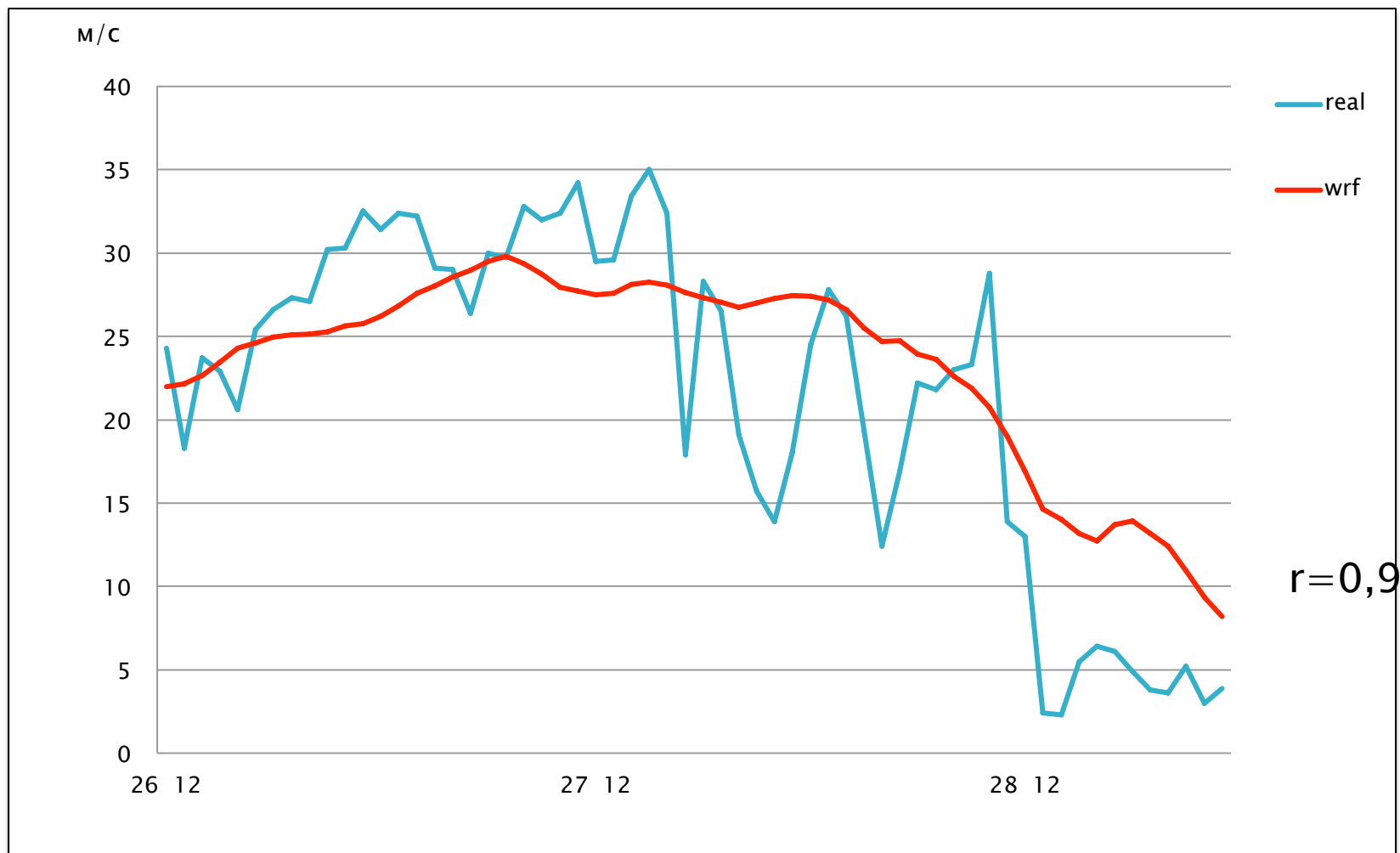
3 эксперимент, 72 час



Маркотхский хребет

Натурные данные





Пирс №7, Новороссийск

дни

Сравнение вертикальных профилей

