



Опасные орографические усиления ветра, связанные с
обрушением внутренних волн: наблюдения, моделирование,
прогноз

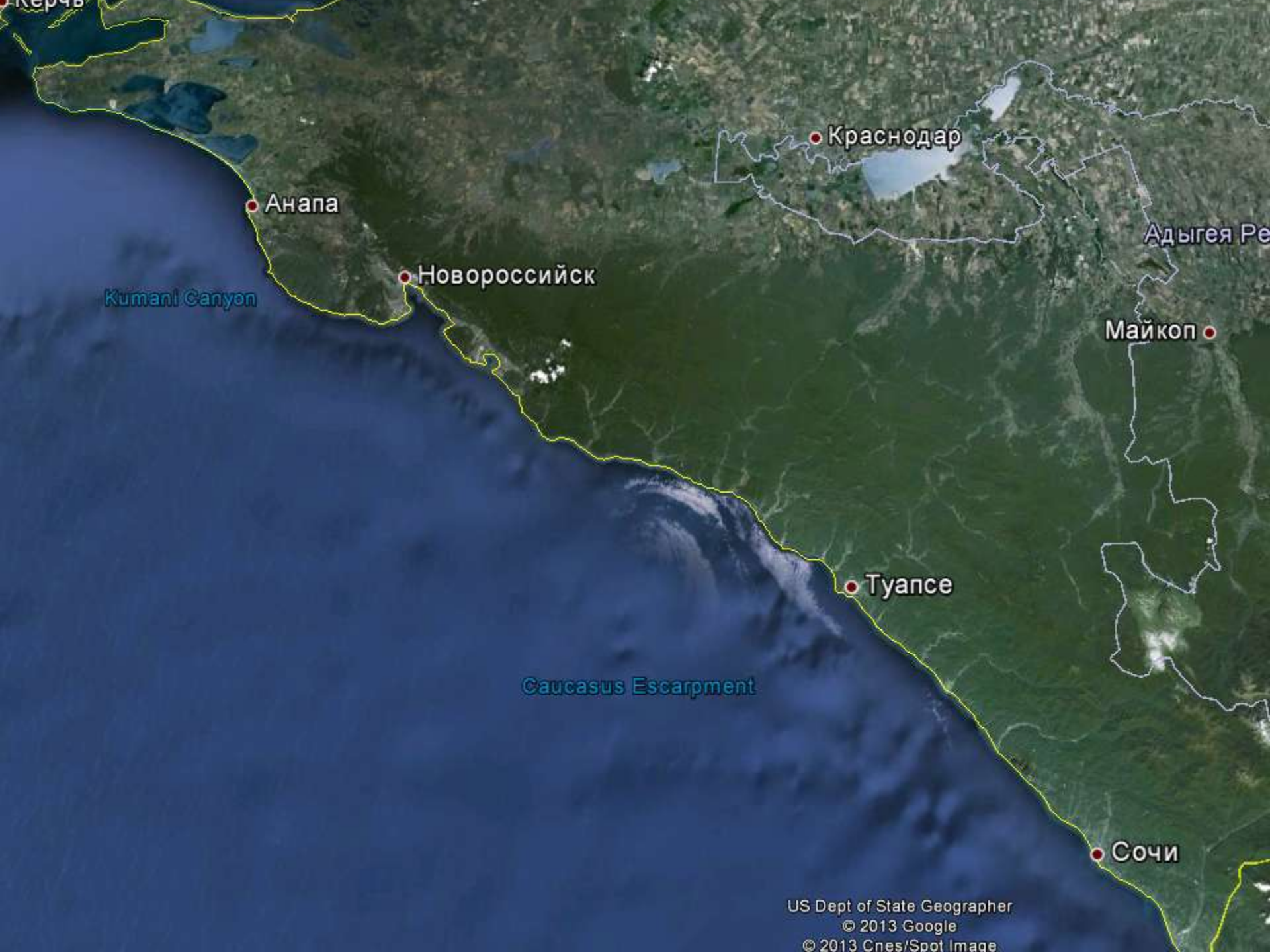
В.Л. Перов

ФГБУ «Гидрометеоцентр России»

Всероссийский Съезд ТП КБПЭ

Москва 20 мая, 2014 г.

- Опасные орографические усиления ветра (30-50 м/с) наблюдаются в различных горных районах Земли. В России, представителем таких ветров является черноморская бора - сильный и порывистый ветер в г. Новороссийске и других районах Черноморского побережья Кавказа (Анапа, Геленджик, Джугба, Туапсе), направленный вниз по горному склону в сторону Черного моря и приносящий значительное похолодание.
- Ветры типа боры встречаются в разных регионах: это бора в Хорватии , чинук у подножья Скалистых гор в штате Колорадо, сарма на побережье Байкала, фёнообразные ветры в Альпах в Европе и т.д.
- Для таких ветров характерно наличие увеличенного барического градиента синоптического масштаба, который направлен примерно по нормали к горному хребту и наличие температурной инверсии в натекающем потоке.



Керчь

Анапа

Новороссийск

Краснодар

Адыгея Република

Майкоп

Туапсе

Сочи

Kumañi Canyon

Caucasus Escarpment

US Dept of State Geographer

© 2013 Google

© 2013 Cnes/Spot Image

илловка

Новороссийск

ул. Министраны

Новороссийская (Цемесская) бухта

Image © 2013 DigitalGlobe
© 2013 Google

Переваливание холодного воздуха через низкие перевалы сопровождается такими процессами как:

- ***генерация и разрушение орографических волн***
- ***резкое усилением ветра на подветренном склоне,***
- ***образование гидравлических скачков и атмосферных роторов в потоке воздуха,***
- ***отрыв пограничного слоя на подветренной стороне хребта***

Было предложено несколько физических механизмов, объясняющих появления таких ветров.

➤ **Первый** основан на аналогии с *нелинейным гидравлическим потоком, описываемом уравнениями типа “мелкой воды”, над препятствием*. Этот подход показывает, что скорость потока значительно увеличивается над подветренным склоном, когда над ним возникает гидравлический скачок, т.е. в потоке происходит переход от докритического режима к сверхкритическому в районе скачка.

➤ **Второй механизм** основан на *суперпозиции орографических волн*, распространяющихся вверх и вниз в стратифицированном потоке, при этом, частично отражающихся от внутренних слоев с изменяющимся параметром Скорера. Заметим, что использование в этом подходе линейной теории распространения орографических волн для объяснения нелинейных волновых процессов имеет ограниченное применение.

➤ **Третий механизм** основан на *явлении обрушения орографических волн*.

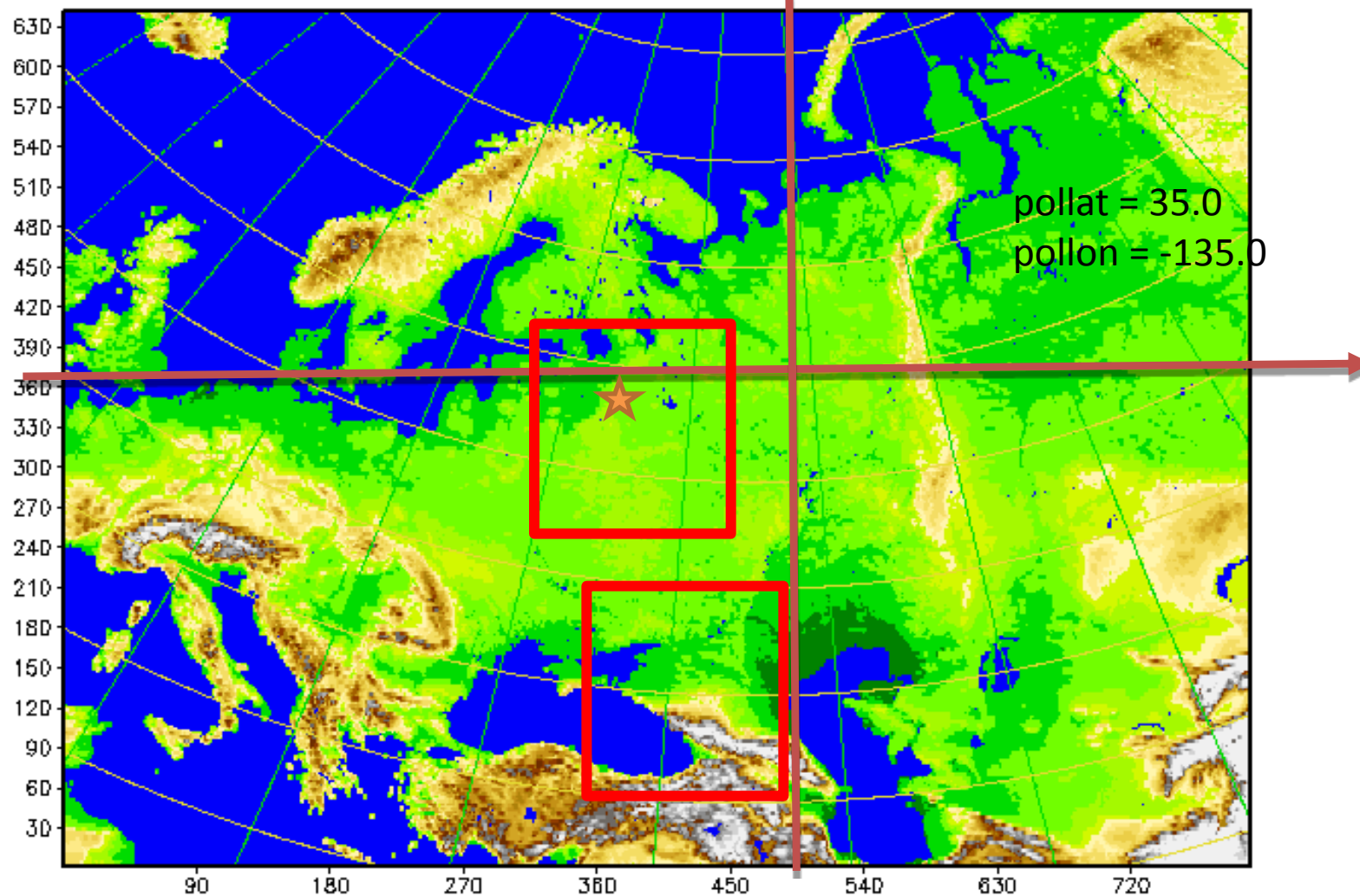
Вертикально распространяющиеся волны становятся неустойчивыми и обрушиваются, приводя к появлению на некоторой высоте, слоя сильного перемешивания над подветренным склоном. Этот слой действует как отражающий (критический слой) для волн, которые таким образом растут по времени в слое между критическим слоем и подветренным склоном. Этот процесс приводит к появлению сильных поверхностных ветров.

➤ В последнее время ряд результатов показывает, что механизм обрушения волн, который усиливает направленный вниз по склону ветер, и механизм, основанный на гидравлическом подходе, с переходом от докритического режима к сверхкритическому **дают подобные результаты**.

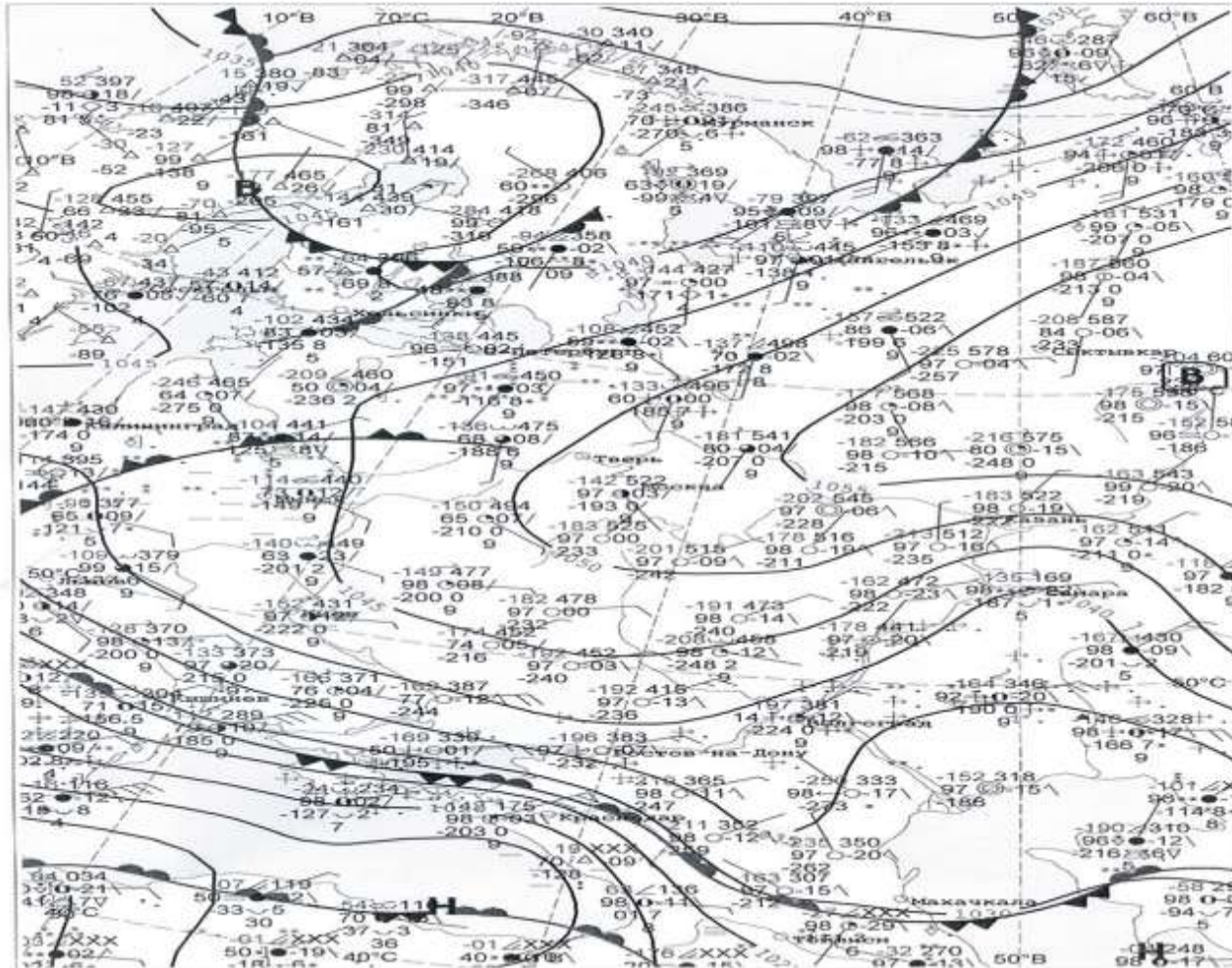
Негидростатическая модель краткосрочного прогноза погоды COSMO-Ru

- COSMO-Ru7, горизонтальный шаг сетки 7 км, 40 уровней по вертикали, высота верхнего уровня составляет примерно 23 км, 720 x 600 узлов на каждом уровне.
- COSMO-Ru2, горизонтальный шаг сетки 2.2 км, 50 уровней по вертикали, 420 x 470 узлов на каждом уровне.
- Вертикальная турбулентная диффузия основана на параметризации Меллора-Ямады, 1.5 порядка (уровень 2.5 по М-Я). Решается прогностическое уравнение для ТКЭ.
- Горизонтальная турбулентная диффузия по Смагоринскому

Географическая и сдвинутая сферические системы координат для COSMO-RU

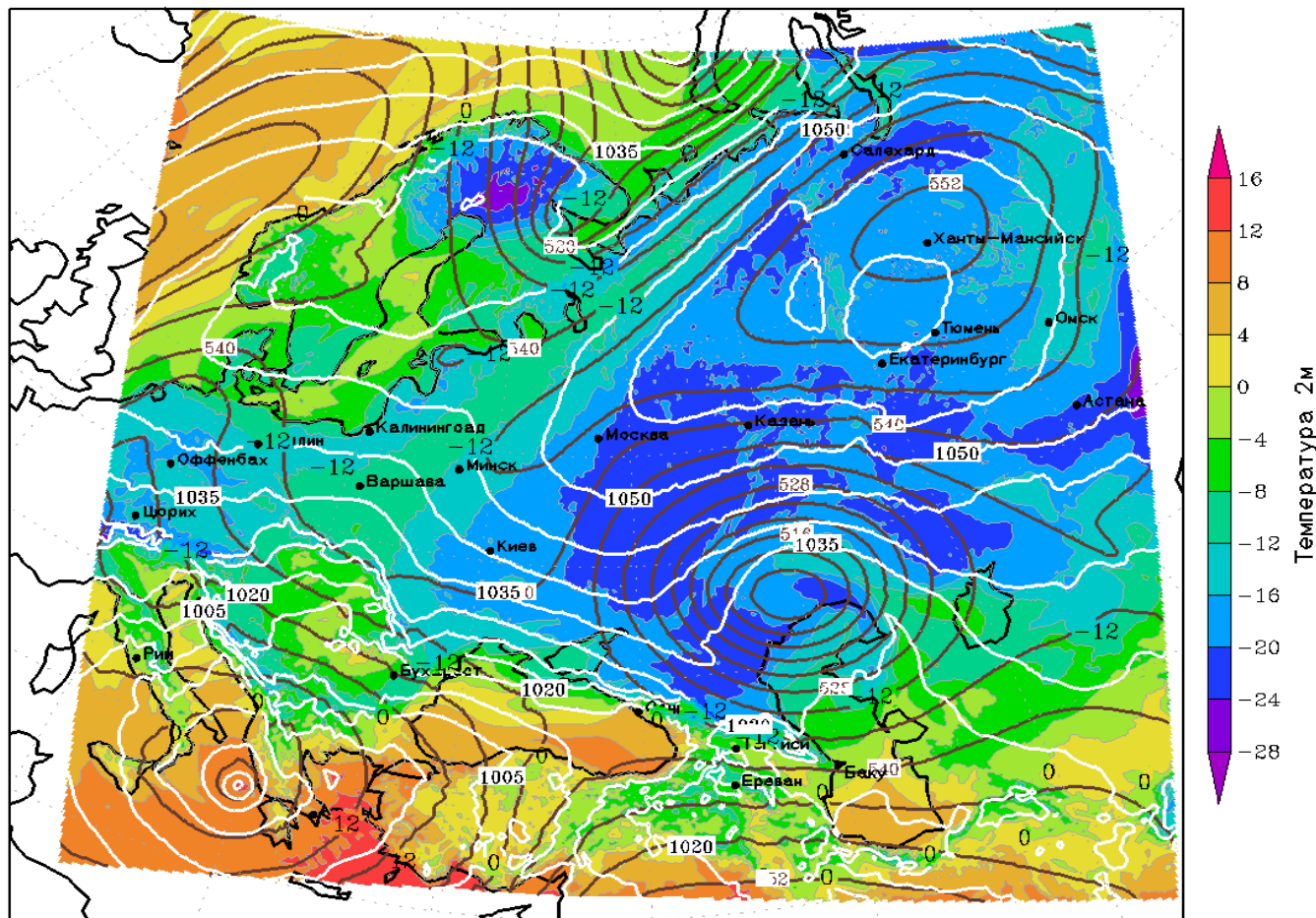


Синоптическая ситуация 6 февраля 2012 г.



Прогноз по модели COSMO-Ru7 температуры воздуха на высоте 2м (С, цвет), давления на уровне моря (hPa, белые линии), давления на поверхности 500 hPa (черные линии), 13 час, 7 февраля 2012 г.

13:00 07фев 2012 (МСК): T2м, P ур.моря, H500

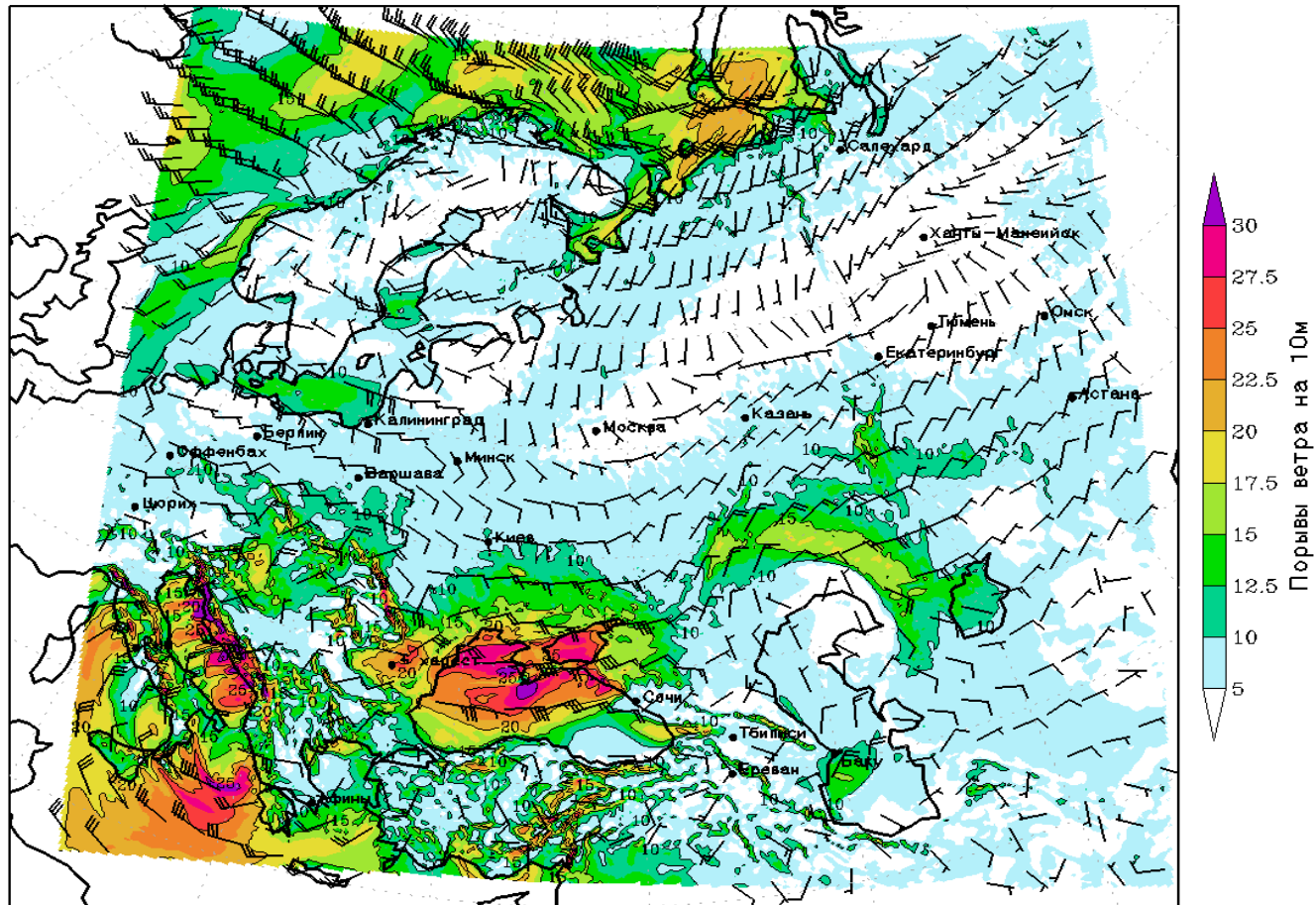


Прогноз на 33ч. от 04:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 7км

— H500
— Давление на уровне моря

Прогноз по модели COSMO-Ru7 ветра на высоте 10м (м/с, стрелки) и порывов ветра (цвет), 13час, 7 февраля 2012 г.

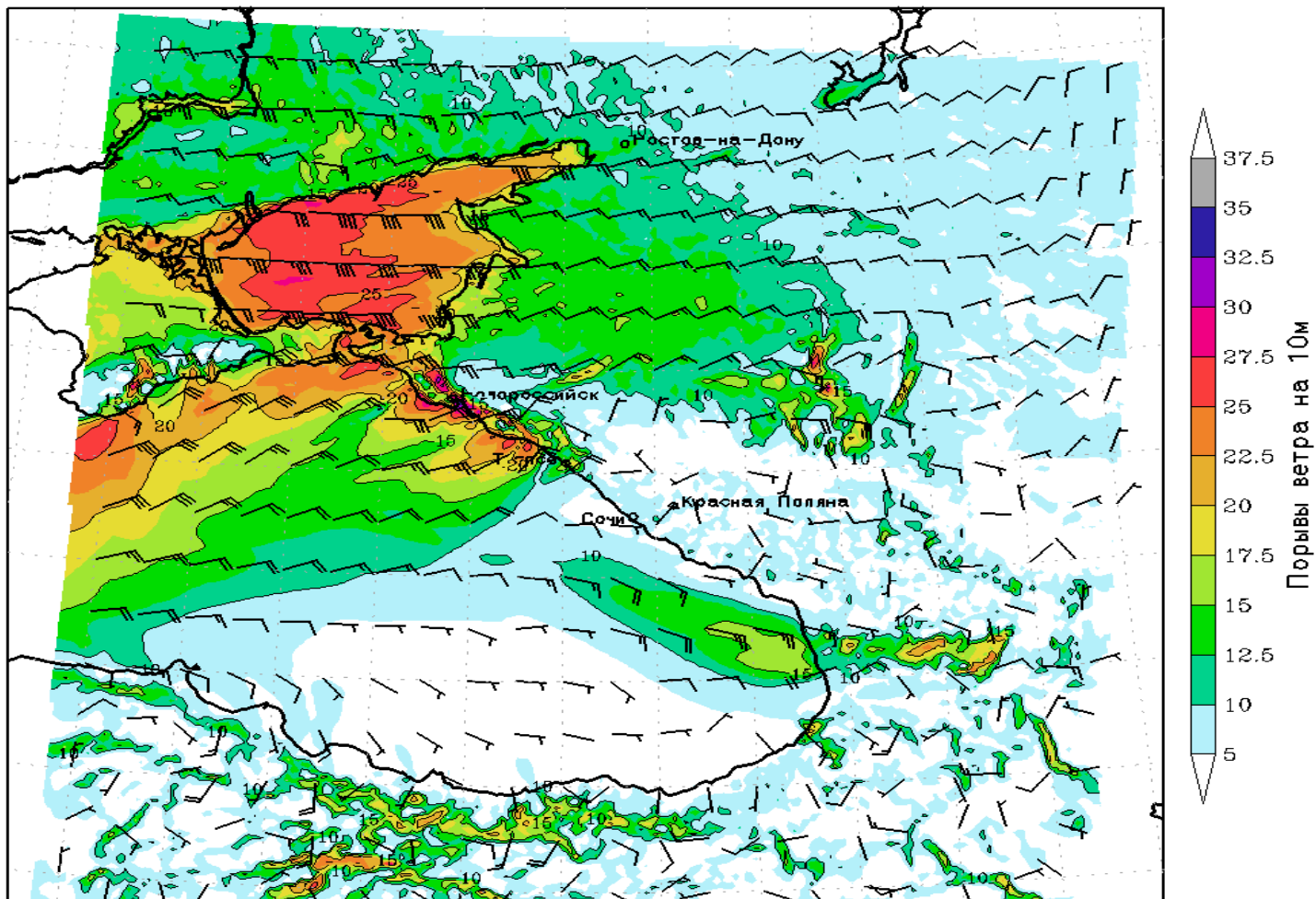
13:00 07фев 2012 (МСК): Ветер на 10м



Прогноз на 33ч. от 04:00 06фев 2012 (МСК) | ветер на 10м
COSMO-RU 7км

Прогноз по модели COSMO-Ru2 ветра на высоте 10м (м/с, стрелки) и порывов ветра (цвет), 2 час, 7 февраля 2012 г.

02:00 07фев 2012 (МСК): Ветер на 10м

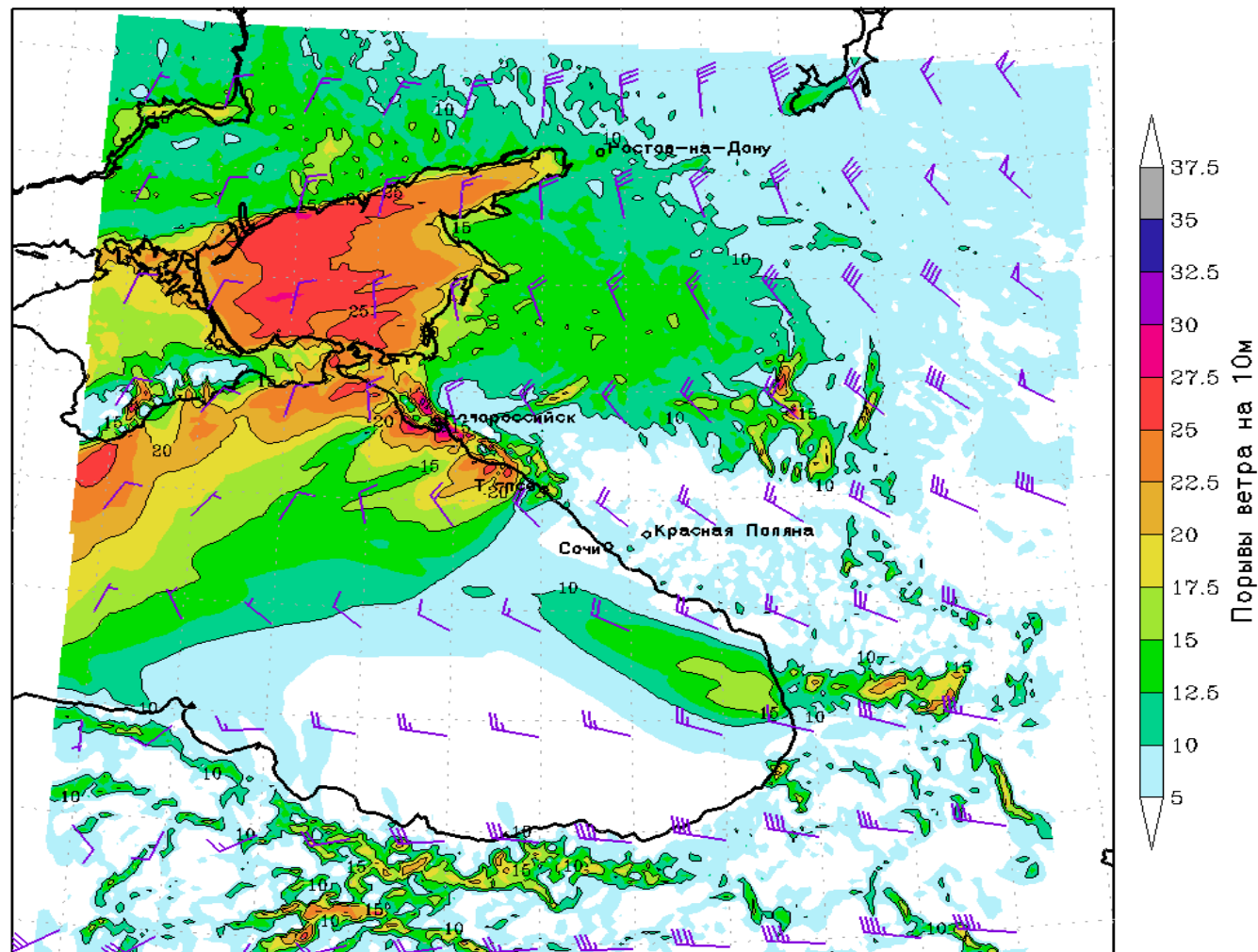


Прогноз на 10ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

— ветер на 10м

Прогноз по модели COSMO-Ru2 скорости ветра (м/с) на поверхности 500 hPa (стрелки) и порывов ветра (цвет), 2 час, 7 февраля 2012 г.

02:00 07фев 2012 (МСК):
Ветер на 500гПа, порывы на 10м

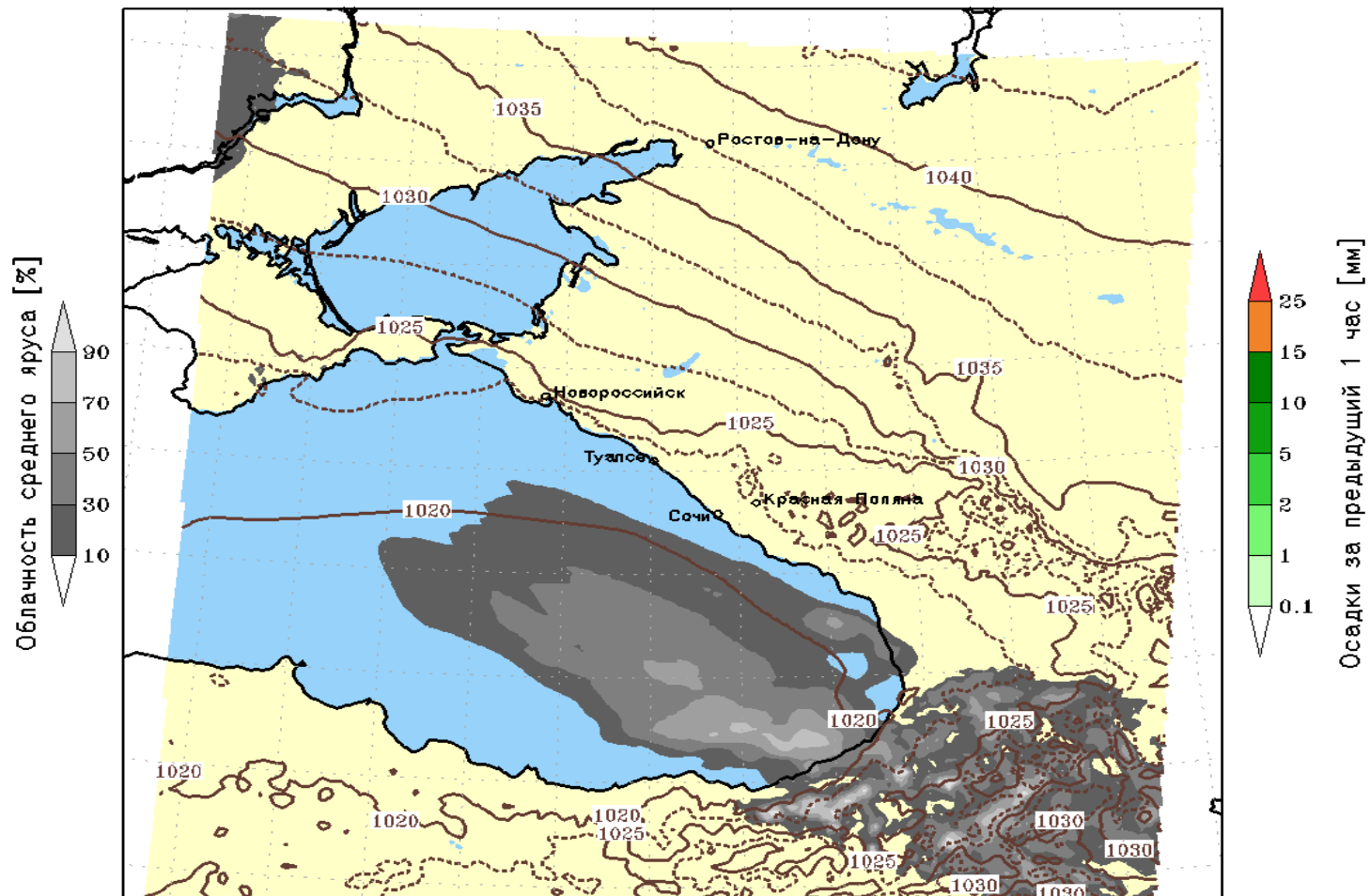


Прогноз на 10ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

ветер на 500 гПа

Прогноз по модели COSMO-Ru2 давления на уровне моря (hPa, линии), облачности (серый цвет) и осадков (цвет), 17 час, 6 февраля 2012 г.

17:00 06фев 2012 (МСК): Р ур.моря, облачность, осадки

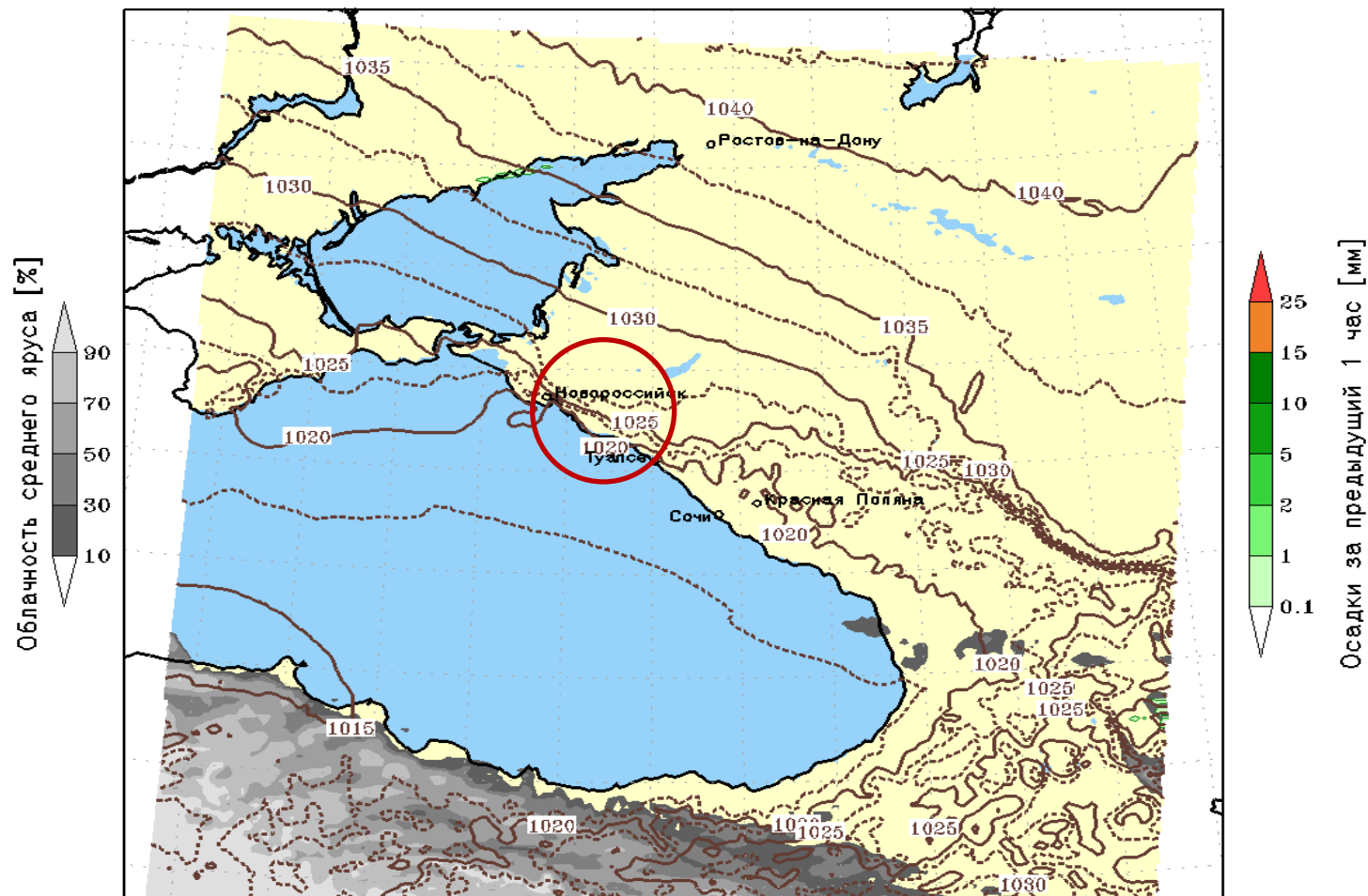


Прогноз на 1ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

— Давление на уровне моря

Прогноз по модели COSMO-Ru2 давления на уровне моря (hPa, линии),
облачности (серый цвет) и осадков (цвет), 2 час, 6 февраля 2012 г.

02:00 07фев 2012 (МСК): Р ур.моря, облачность, осадки

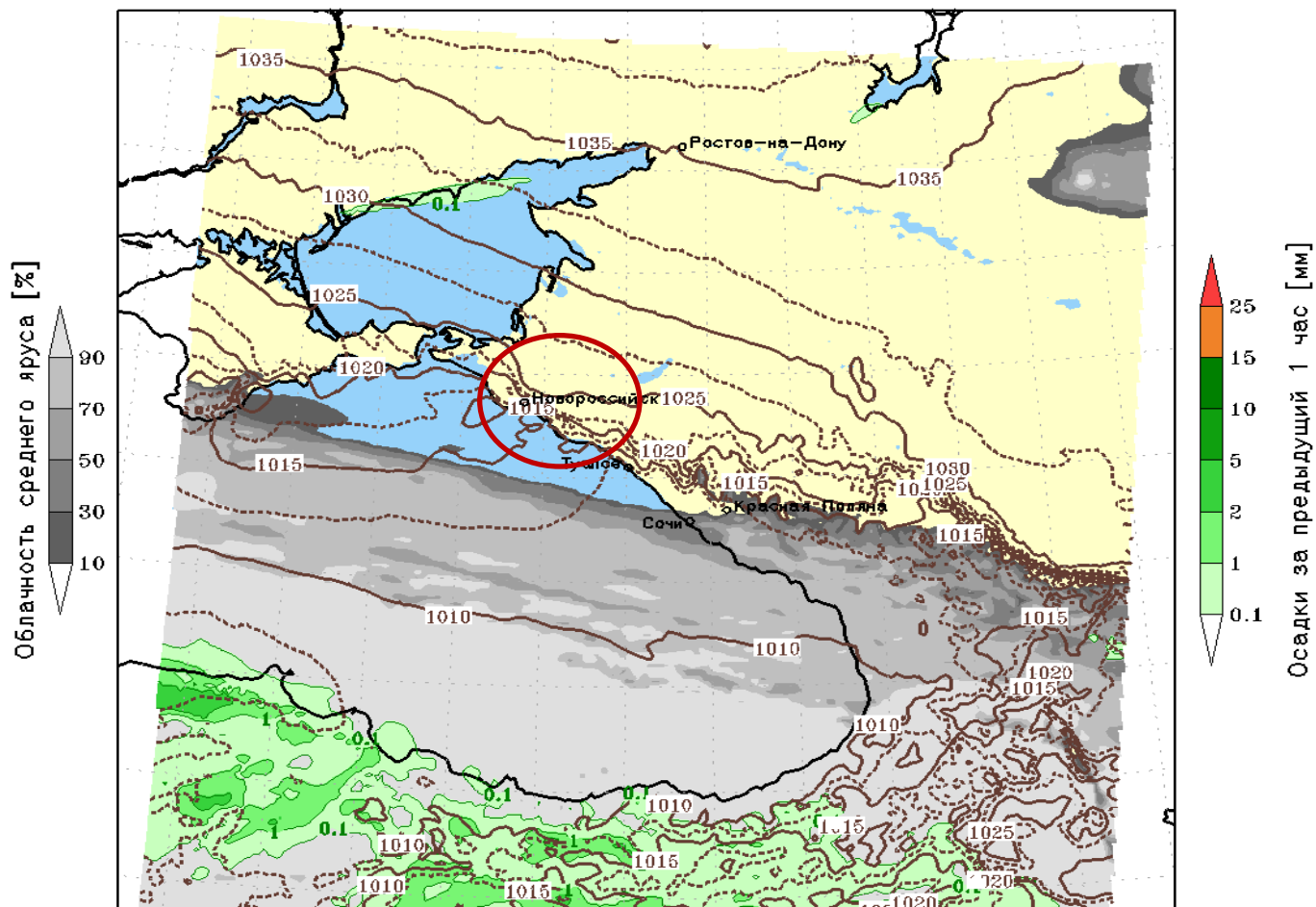


Прогноз на 10ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

— Давление на уровне моря

Прогноз по модели COSMO-Ru2 давления на уровне моря (hPa, линии),
облачности (серый цвет) осадков (цвет), 13 час, 6 февраля 2012 г.

13:00 07фев 2012 (МСК): P ур.моря, облачность, осадки

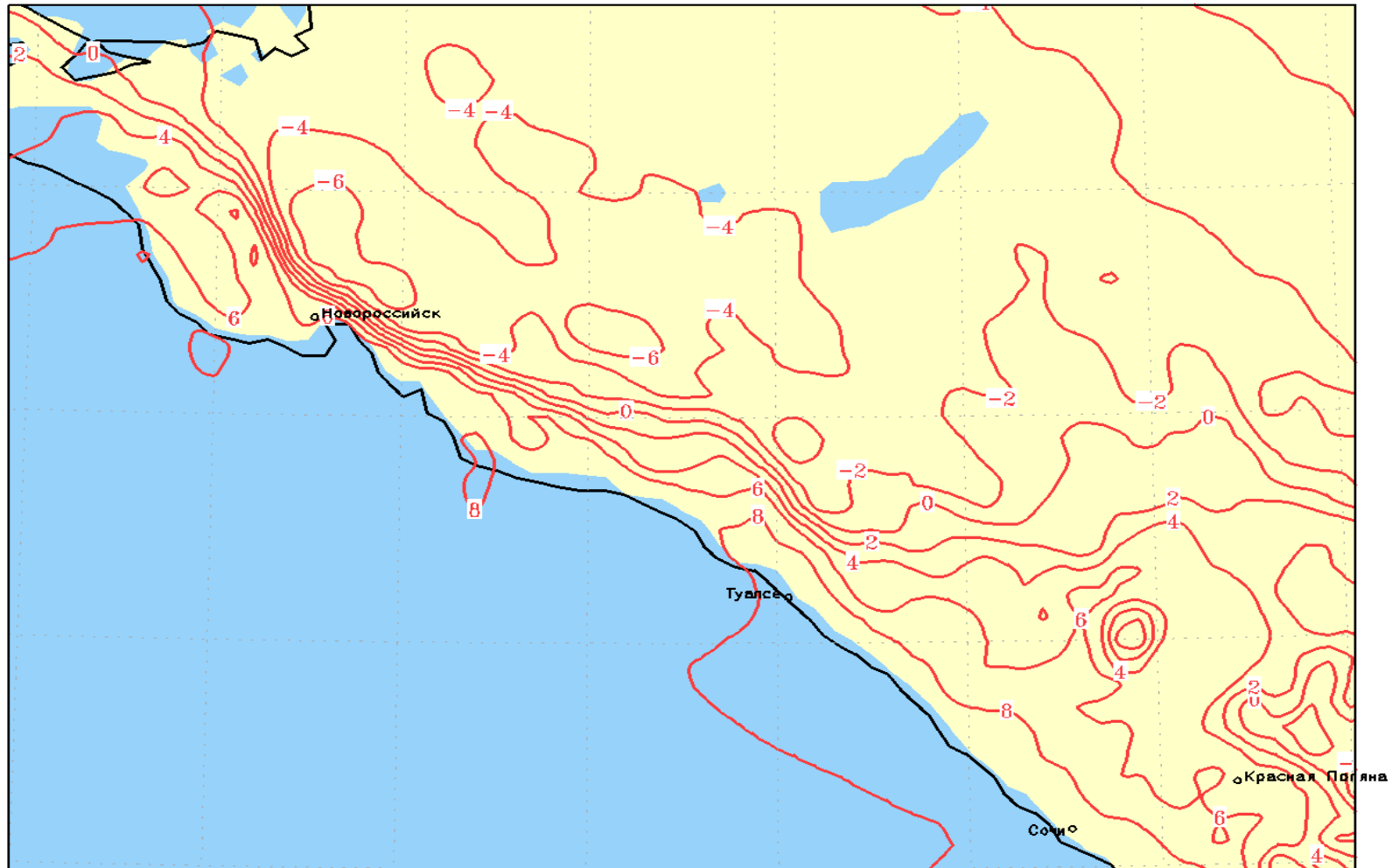


Прогноз на 21ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

— Давление на уровне моря

Прогноз по модели COSMO-Ru2 температуры на поверхности 950 hPa, 17 час, 6 февраля 2012 г.

17:00 06фев 2012 (МСК): Температура на 950гПа

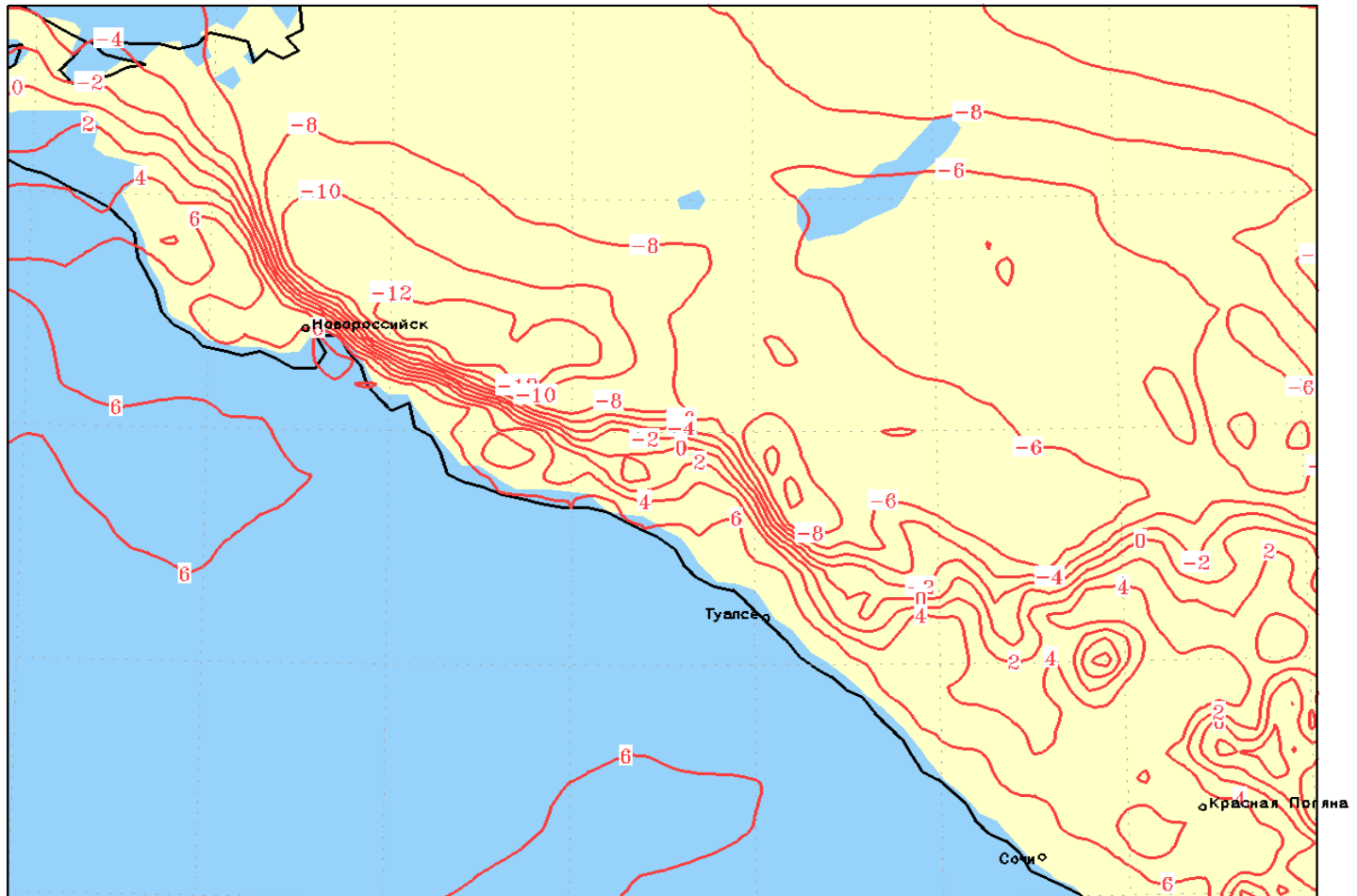


Прогноз на 1ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

— Температура на 950гПа

Прогноз по модели COSMO-Ru2 температуры на поверхности 950 hPa, 2 час, 7 февраля 2012 г.

02:00 07 фев 2012 (МСК): Температура на 950гПа

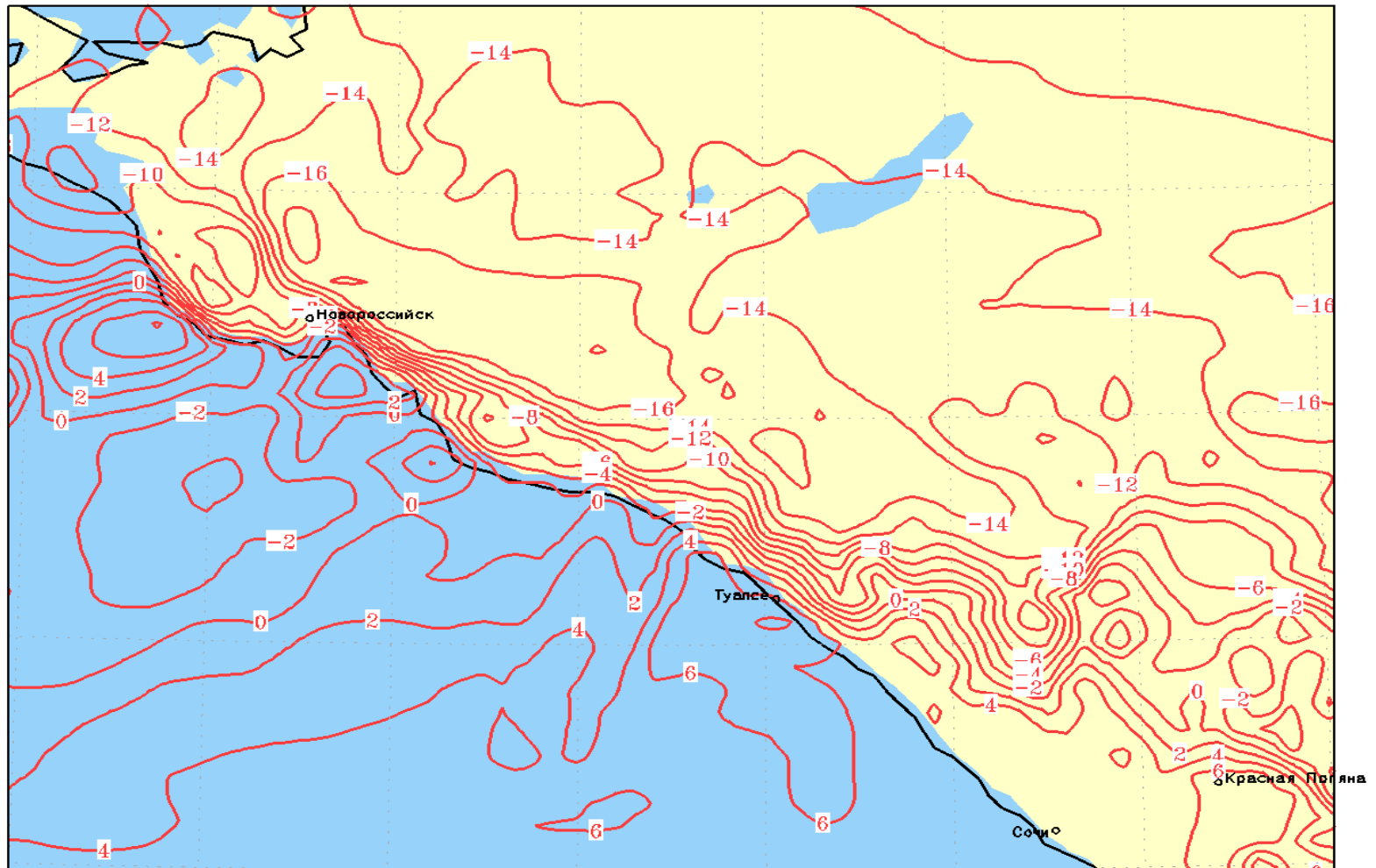


Прогноз на 10ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

— Температура на 950гПа

Прогноз по модели COSMO-Ru2 температуры на поверхности 950 hPa, 15 час, 7 февраля 2012 г.

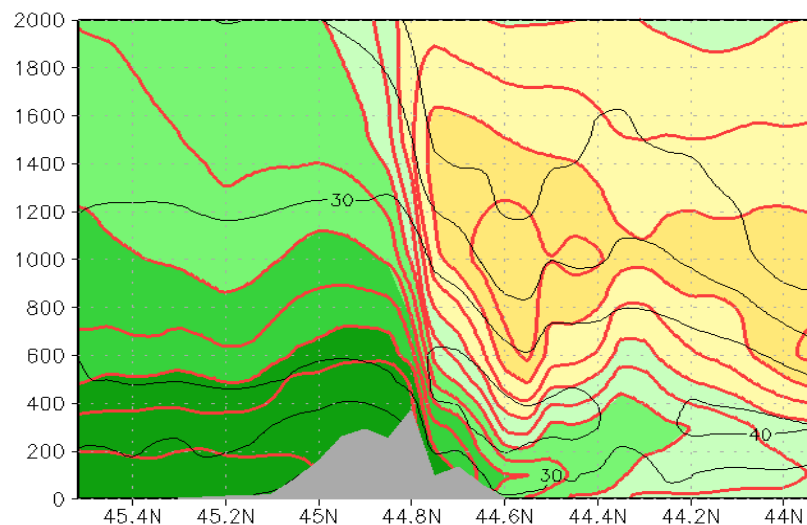
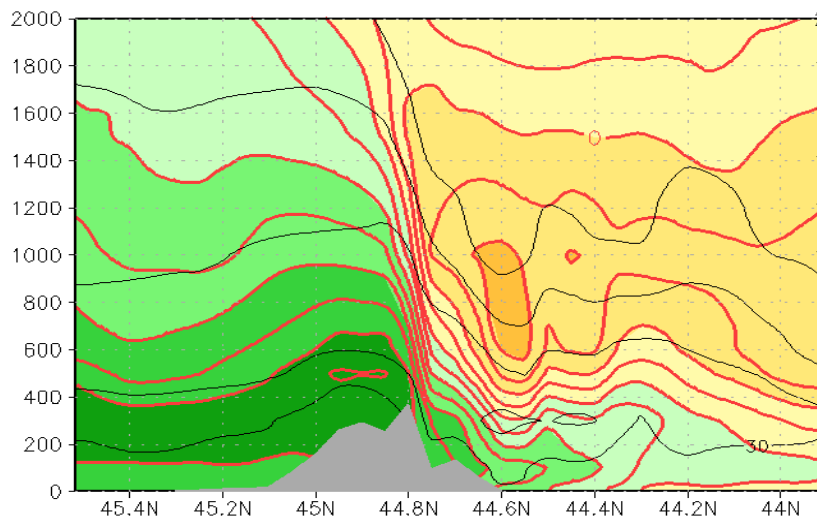
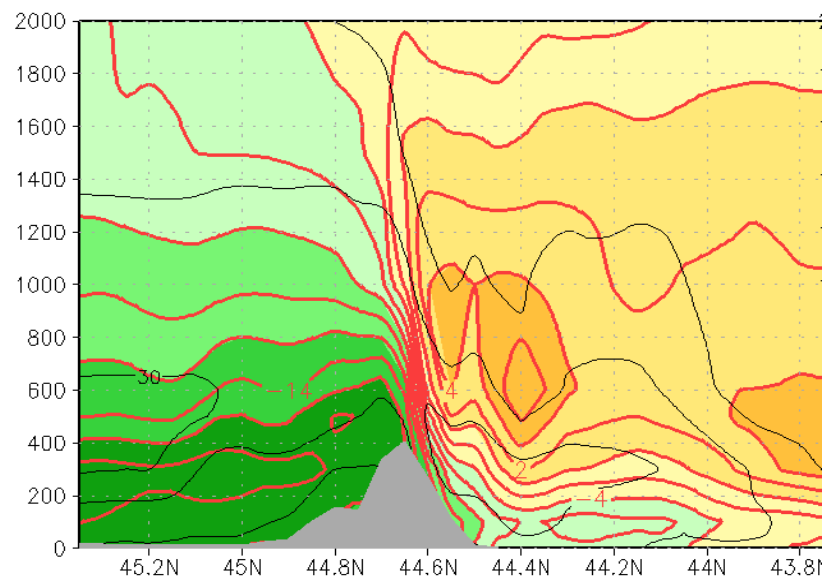
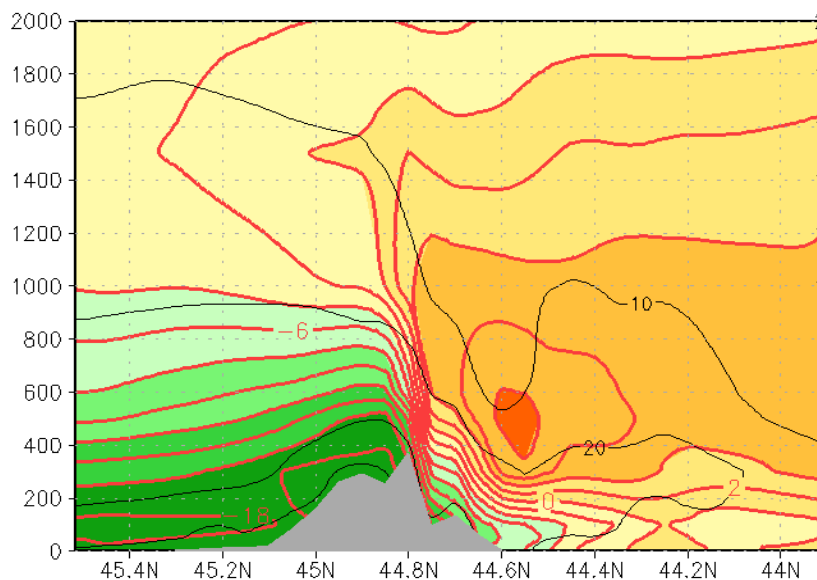
15:00 07 фев 2012 (МСК): Температура на 950гПа



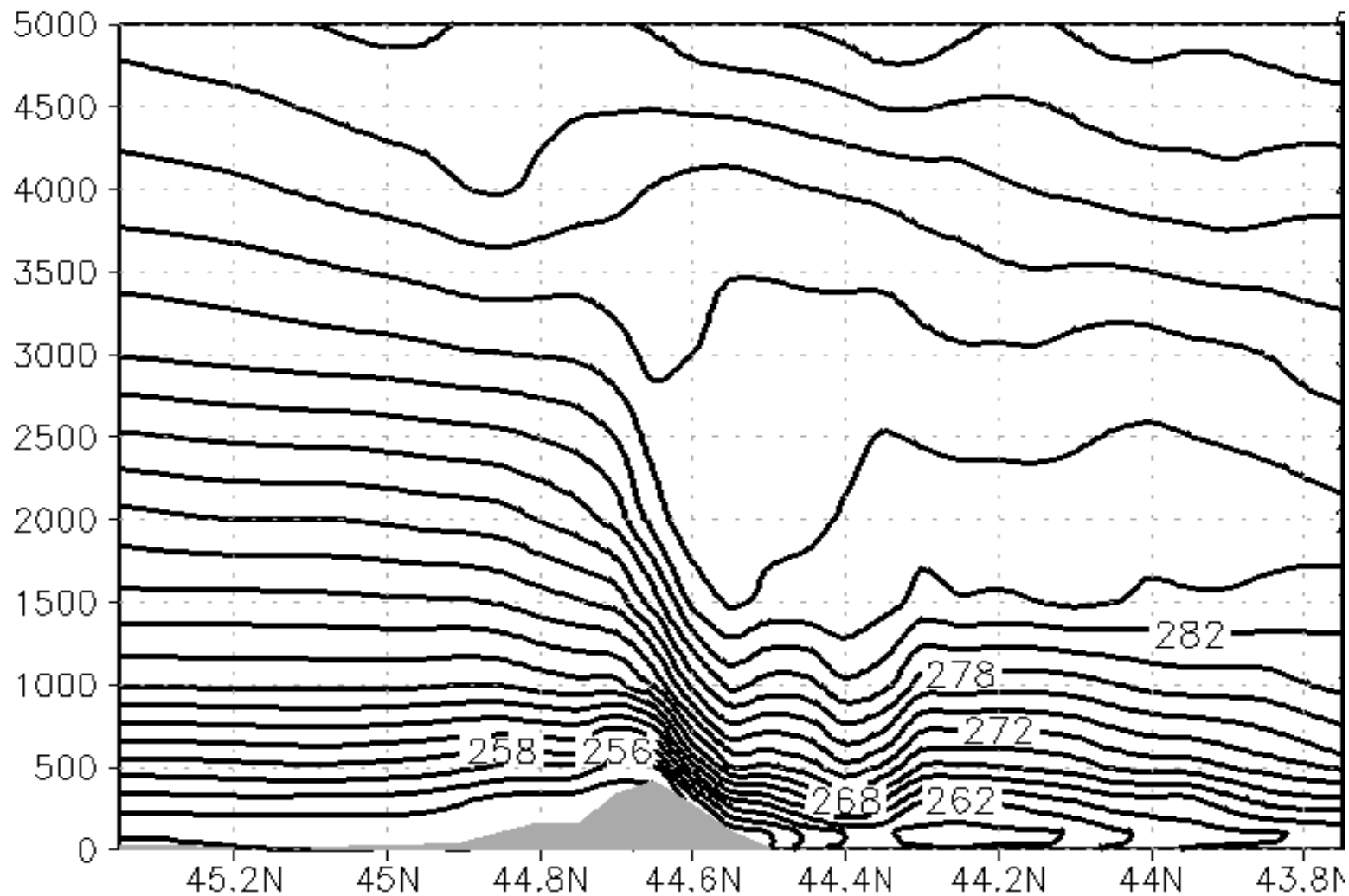
Прогноз на 23ч. от 16:00 06фев 2012 (МСК)
COSMO-RU 2.2км

— Температура на 950гПа

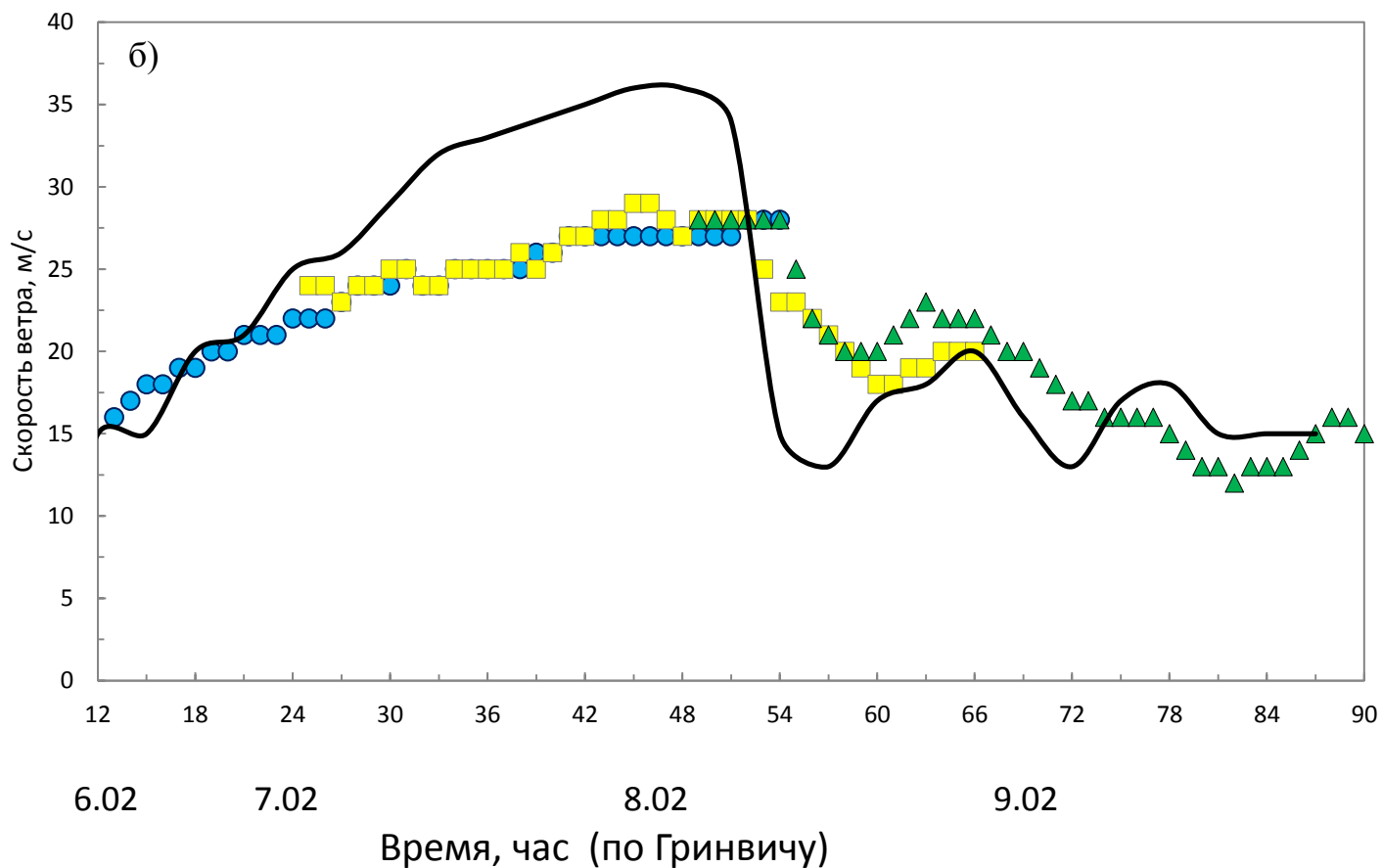
Вертикальный разрез поля температуры (цвет, красные линии) и поля скорости (черные линии) по меридиану через Новороссийск для 06, 13, 17, 22 час 7. 02. 2012



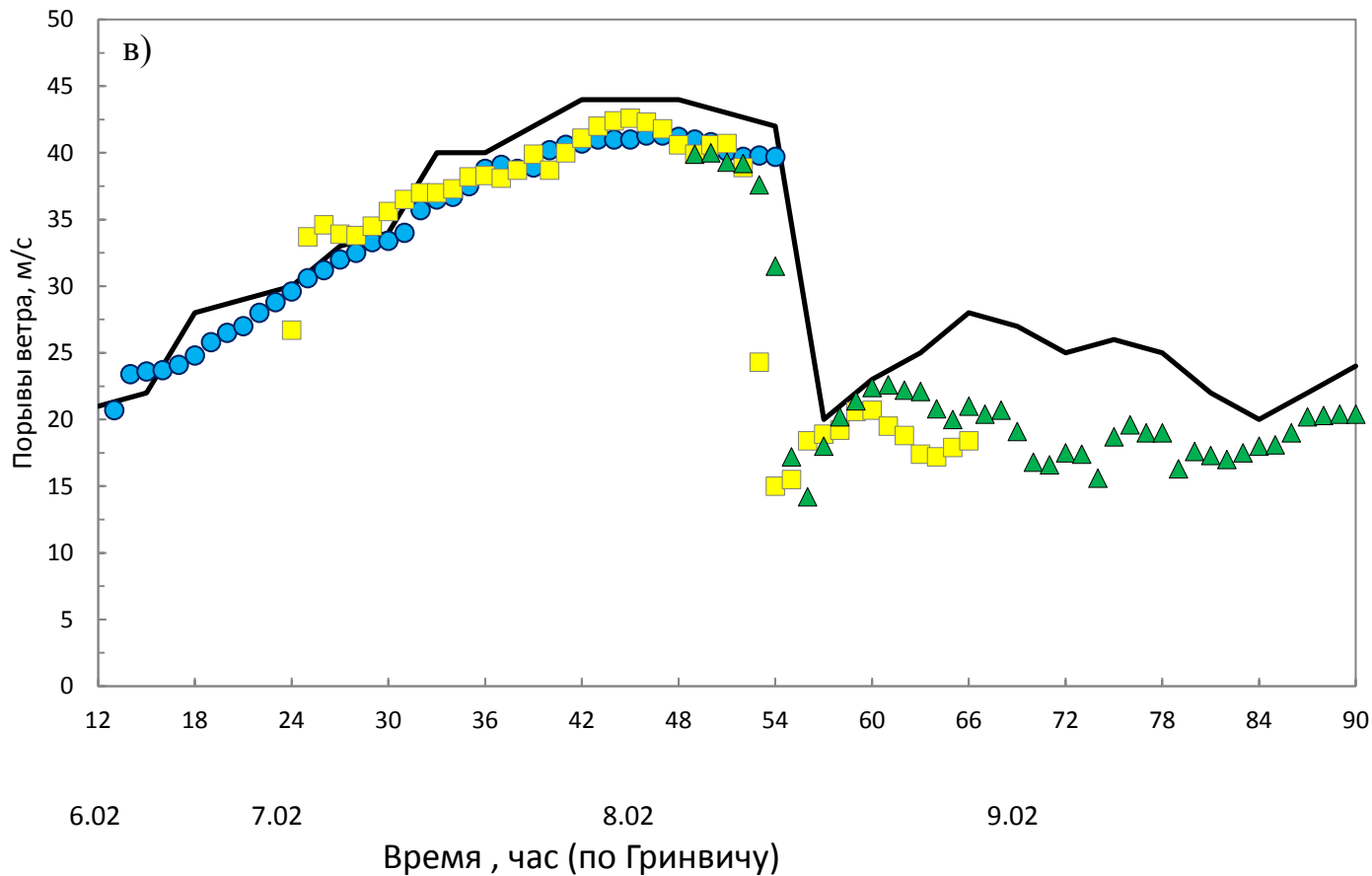
Вертикальный разрез по меридиану поля потенциальной температуры (K), для Новороссийска, 8 час, 08 Feb. 2012 г. Прогноз на 38 часов.

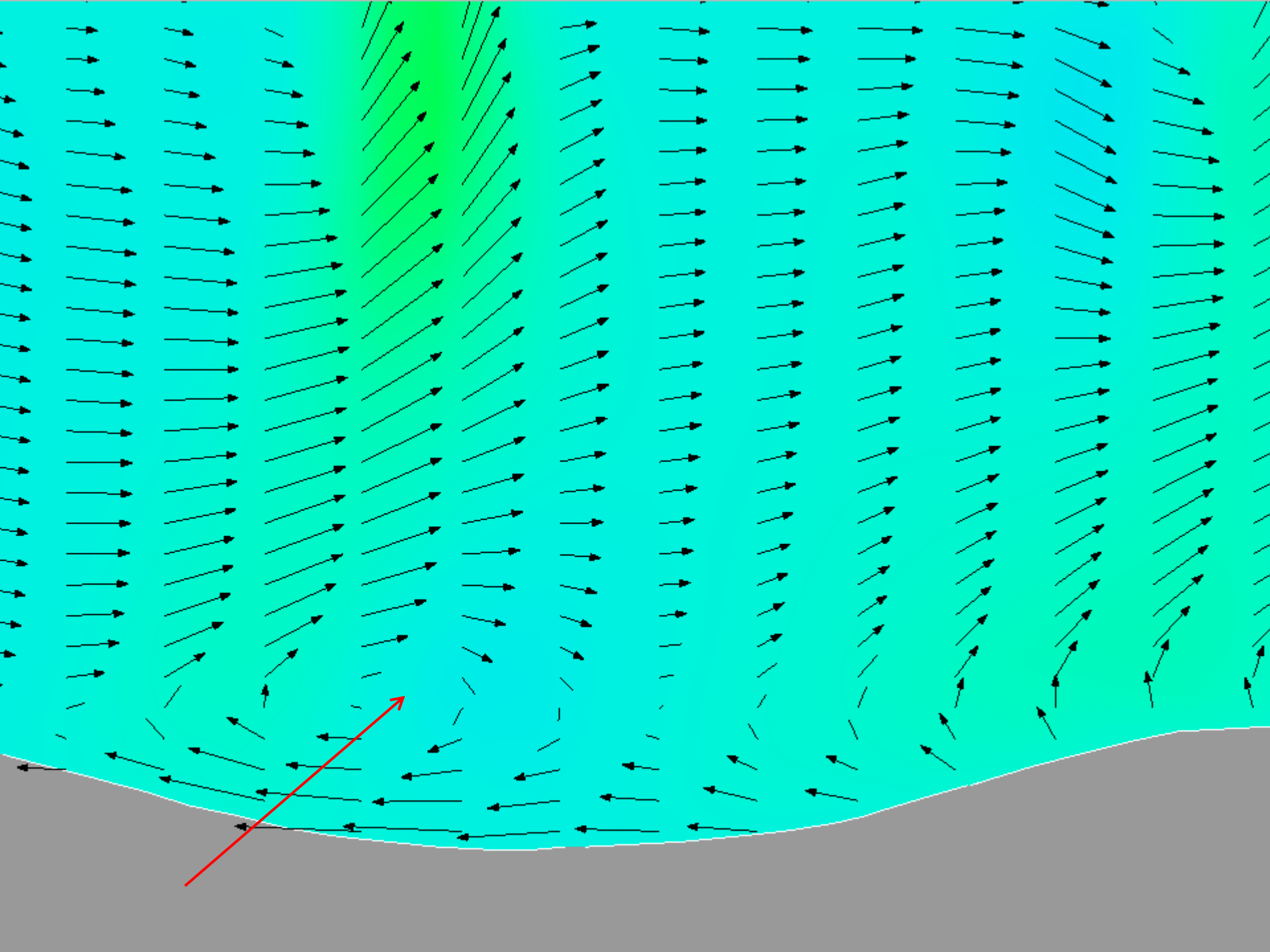


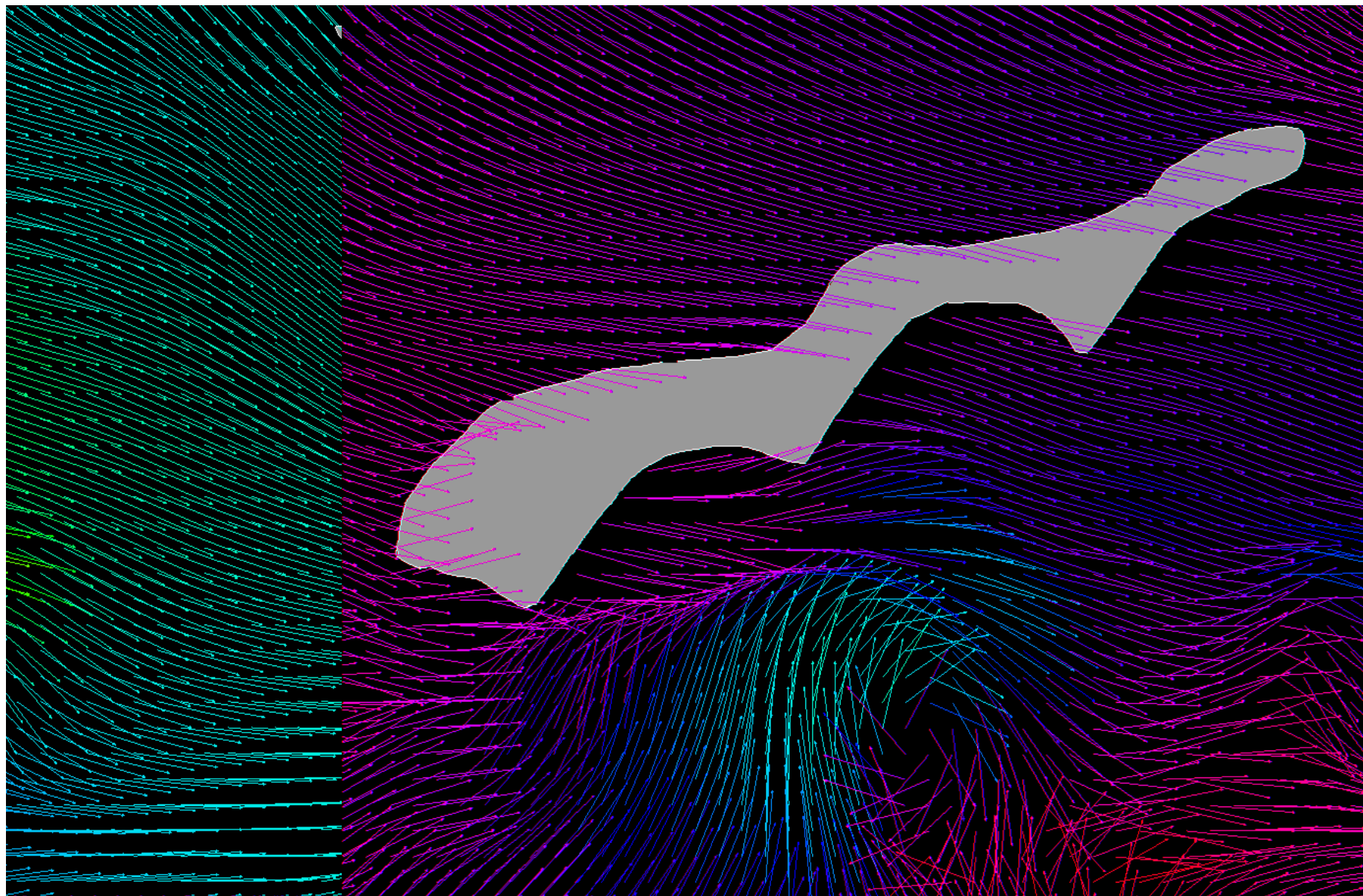
Сравнение прогностических (цветные фигуры) и наблюдаемых (сплошные черные линии) величин скорости ветра на высоте 10м в Новороссийске 6.02 – 9.02



Сравнение прогностических (цветные фигуры) и наблюдаемых (сплошные черные линии) величин порывов ветра на высоте 10м в Новороссийске 6.02 – 9.02







Заключение

- Представлен детальный анализ прогноза экстремальной боры на черноморском побережье Кавказа в период 6.02 – 9.02.2012 г. по прогностической негеострофической модели COSMO-Ru Гидрометеоцентра России.
- Модель с горизонтальным разрешением 2км правильно описывает основные характеристики боры и развитие ее во времени. Так, модель правильно воспроизвела резкое усиление ветра и порывов ветра над подветренным склоном в Новороссийске, которое очень напоминает образование скачка в гидравлических моделях.
- Вычисленные значения числа Фруда для 5-ти вертикальных колонн, расположенных до горного хребта, прямо над ним и за хребтом подтвердили переход воздушного потока от докритического режима перед хребтом к критическому прямо над ним и к сверхкритическому с резким усилением ветра над подветренным склоном в районе Новороссийска.

Спасибо за внимание

