

Численное моделирование мезомасштабных атмосферных процессов

М.В.Шокуров, В.С.Барабанов

ФГБУН Морской гидрофизический институт

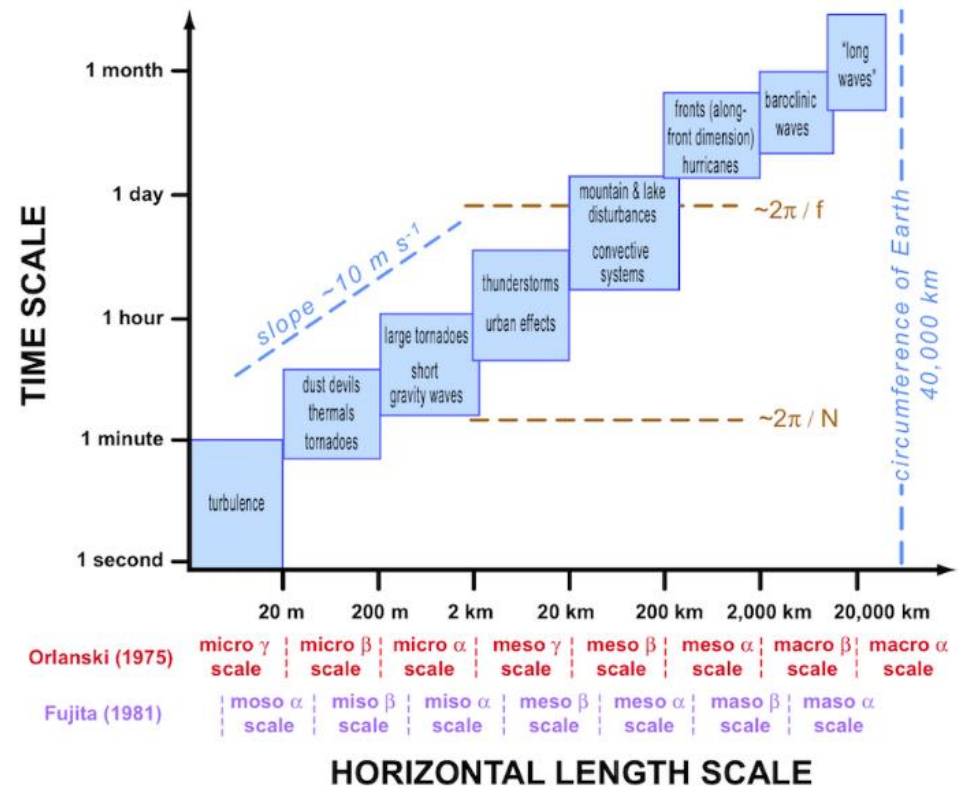
СПб, РГГМУ, 2018

Мезомасштабы в атмосфере

Мезо-альфа 200-2000 км

Мезо-бета 20-200 км

Мезо-гамма 2-20 км

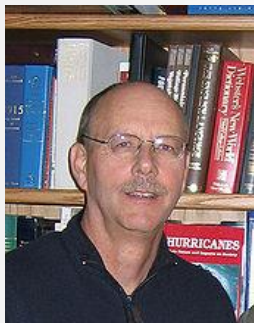


Ранние исследования (в т.ч. моделирование) этих явлений в СССР 60-х:
И.А.Кибель, Л.Н.Гутман



Мезомасштабные атмосферные модели (история)

Roger A. Pielke Sr.



Региональные модели (LAM) существовали с 70-х в США, СССР, Великобритании.

До середины 80-х шаг сетки был обычно $>100\text{км}$

Использовались для оперативного прогноза

США: NGM, 1987 (90 км), ETA, 1993,
MM5 (конец 90-х), WRF (около 2000)

Jimmy Dudhia



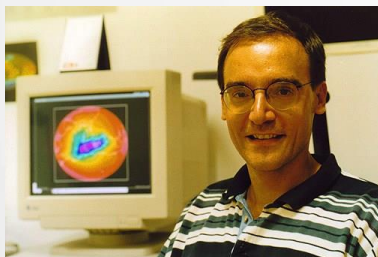
Северная Европа: HIRLAM (1985)

Франция: ALADIN (1993)

Германия LM/COSMO (1999)

И МНОГИЕ другие

Philippo Giorgi



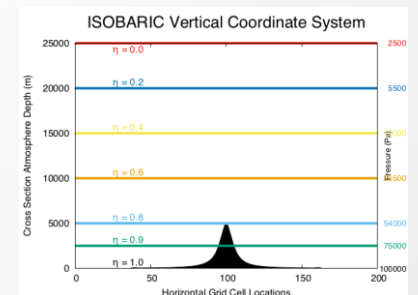
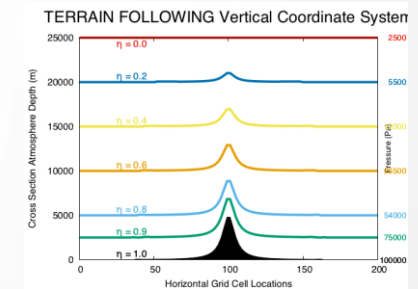
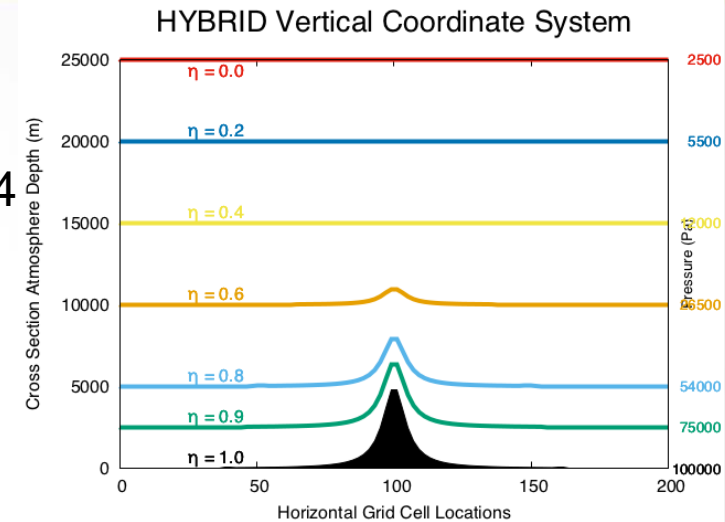
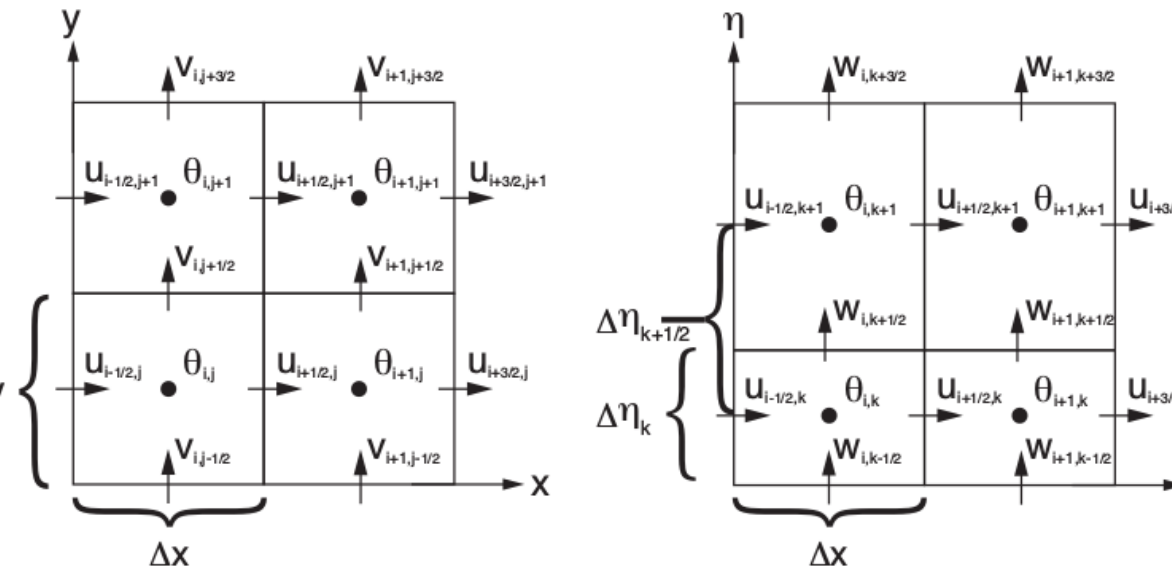
Расчет «региональных проекций» изменений климата — RegCM (NCAR 1989, позднее ICTP),
HadRM

Вопросы для молодого ученого

- Создавать свою модель или пользоваться готовой?
- Какой именно?
- Какие настройки оптимальны?
- Где взять входные данные?
- Что можно получить в результате?

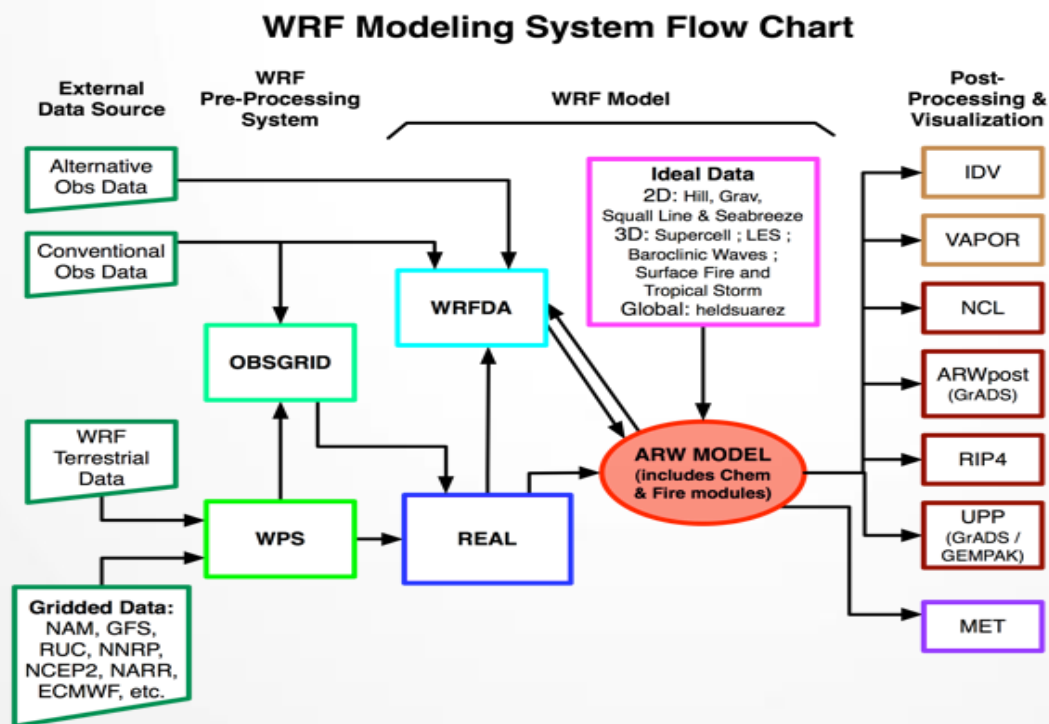
WRF изнутри

- Негидростатическая
- Гибридные вертикальные координаты (с версии 4)
- Сетка С Аракавы
- Схема Рунге-Кутта
- Консервативная



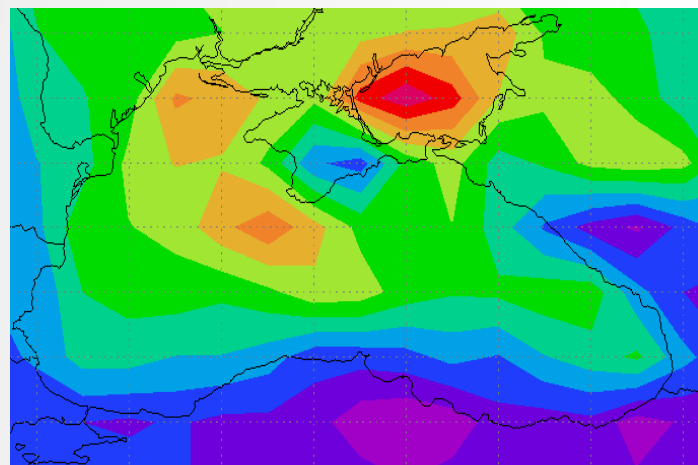
WRF с точки зрения пользователя

- Реализована на Фортран90, поддерживаются разные компиляторы
- Может быть установлена на персональном компьютере (Linux, Mac) или кластере
- Есть поддержка параллельных вычислений
- Код общедоступен (см. <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users>)
- Входные данные также общедоступны, есть предварительная обработка
- Используется стандартный формат (netcdf)
- Целый ряд программ позволяет визуализировать результаты
- Поддерживаются вложенные домены
- Имеется документация
- Есть возможность расчета «идеальных случаев»
- Есть возможность расчетов с ассимиляцией данных

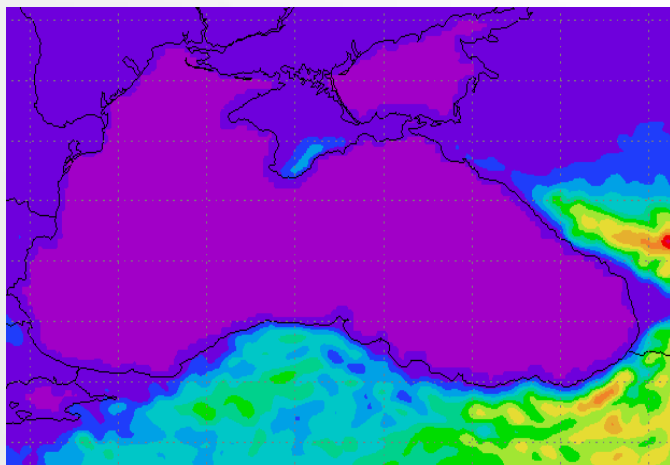


Прогнозирование состояния атмосферы над Черным морем с помощью мезомасштабных моделей (MM5, WRF, RegCM)

Входные данные анализа наблюдений с грубым пространственным разрешением (например, 1°)



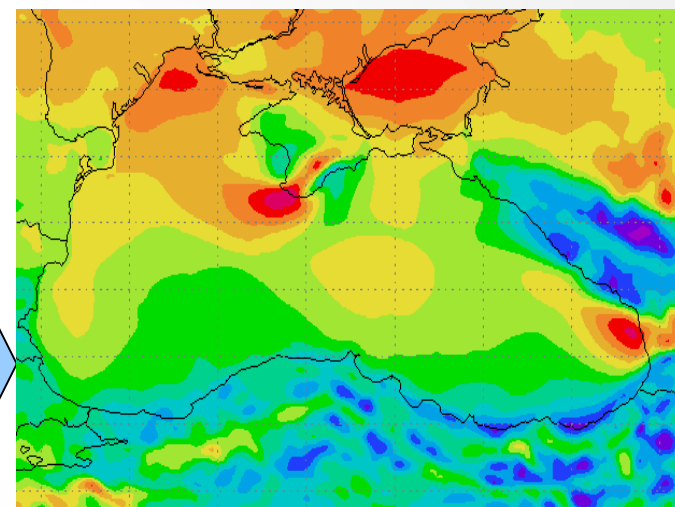
Данные о подстилающей поверхности



Численная модель атмосферной циркуляции



Данные с повышенным в 10-100 раз разрешением



данные могут быть использованы в других моделях (циркуляции вод моря, ветровых волн)

Пример выбора расчетной сетки и использования вложенных доменов

Размеры доменов

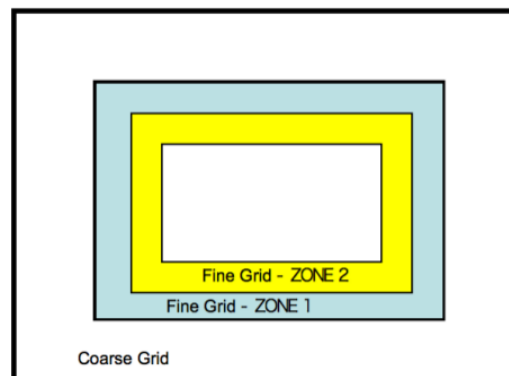
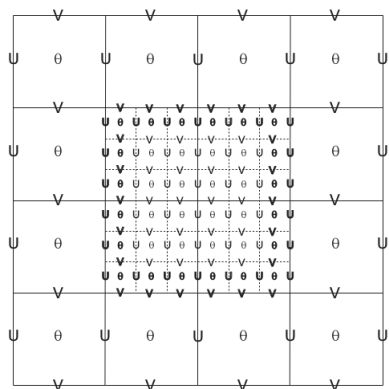
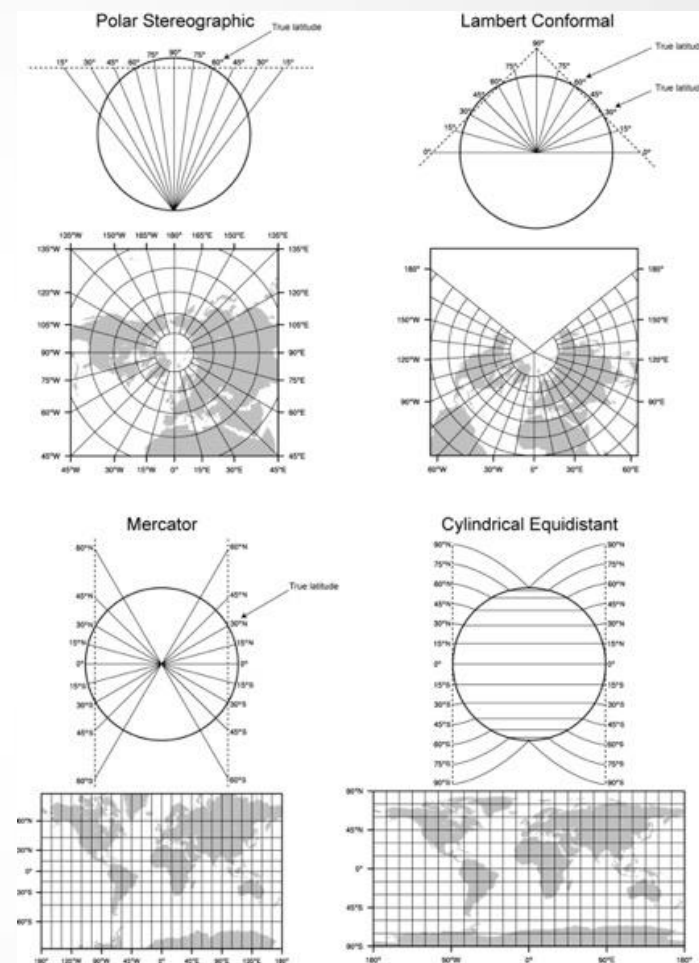
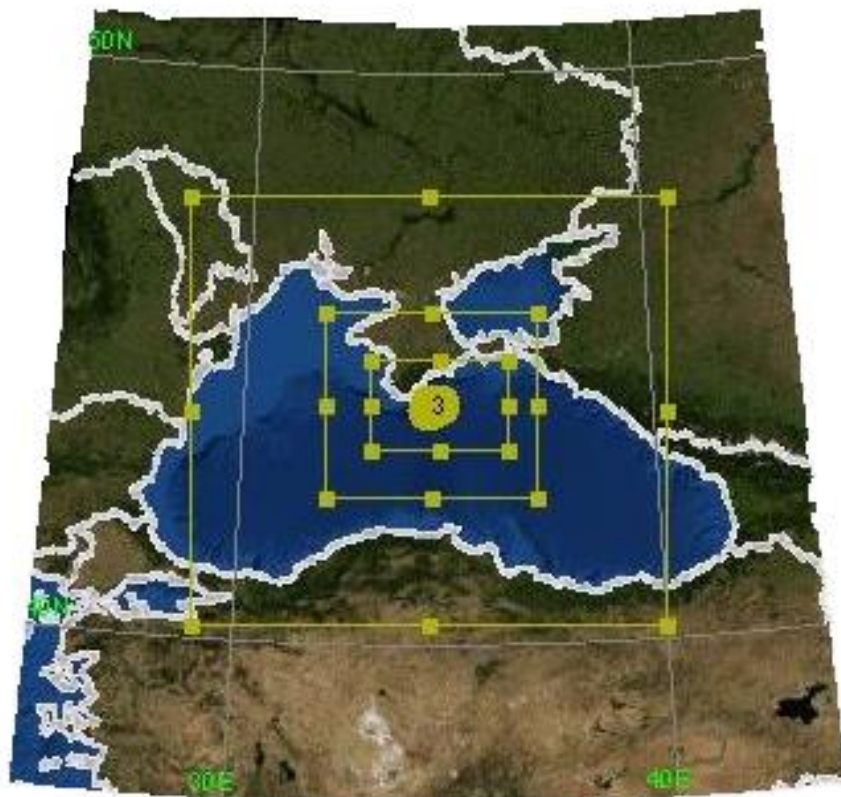
103x92

138x120

267x174

39 сигма-уровней
по вертикали

Пример выбора расчетной сетки и использования вложенных доменов



Пример выбора схем параметризации

RRTM (Rapid Radiative Transfer Model) и Dudhia — для расчета радиационного баланса длинноволновой и коротковолновой радиации соответственно

Single-Moment 3-class — для описания фазовых переходов в атмосфере

MM5 similarity — для параметризации приземного слоя

Kain-Frisch — для расчета кучевой конвекции в доменах с разрешением 9x9 и 3x3 км

YSU — для параметризации планетарного пограничного слоя

Является ли конфигурация, принятая «по умолчанию»,
наилучшей?

Нет.

В расчетах с использованием MM5 на климатические сроки была выбрана схема Pleim-Xiu для поверхности и ППС, т. к. этот вариант давал повышенные значения приводного ветра. Однако, позже был выявлен сильный разбаланс по тепловым потокам.

Мезомасштабная модель и спутниковые данные

Симбиоз и взаимная выгода:
объединяет высокое пространственное разрешение

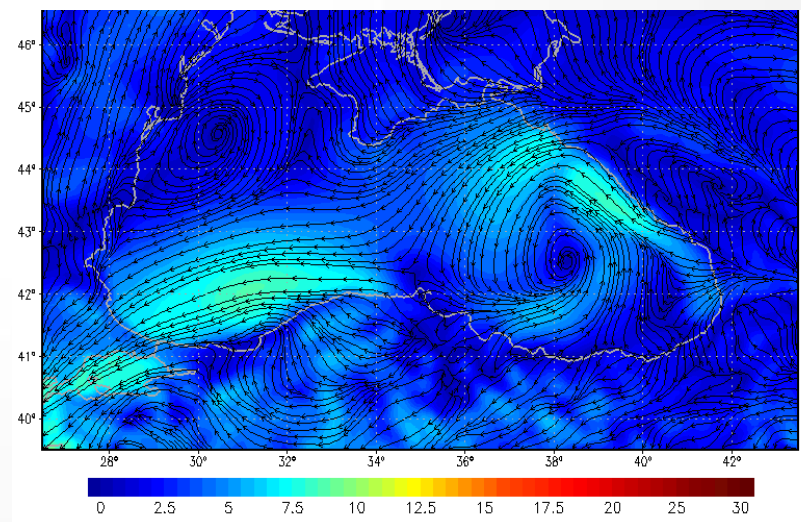
1. Данные о рельефе и типах почв
2. Данные о температуре поверхности
3. Верификация
4. Усвоение (для WRF — готовые массивы в BUFR)



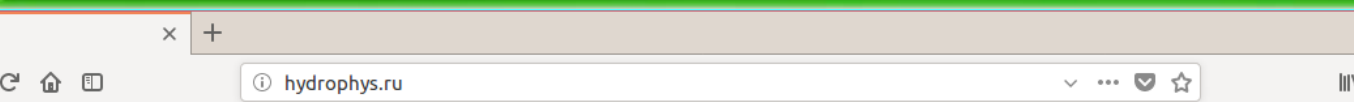
А что взамен?



Что это?



Вчера в прогнозе



3-day weather forecast over the Black Sea

Marine Hydrophysical Institute, Atmosphere-Ocean Interaction Department, Sevastopol

2m temperature, deg.C	06	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
10m wind streamlines	06	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
precipitation rate, mm/3hr	06	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72

WRF v.3.7 mesoscale model www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/

Current resolution 9x9km, 26 levels, [domain](#), input data: Global Forecast System 0.25x0.25 [GFS](#)

PARAMETERIZATION SCHEMES:

- boundary layer: YSU
- soil: 5-layer land surface model
- cumulus convection: new KF
- radiation: RRTM
- microphysics: WSM3

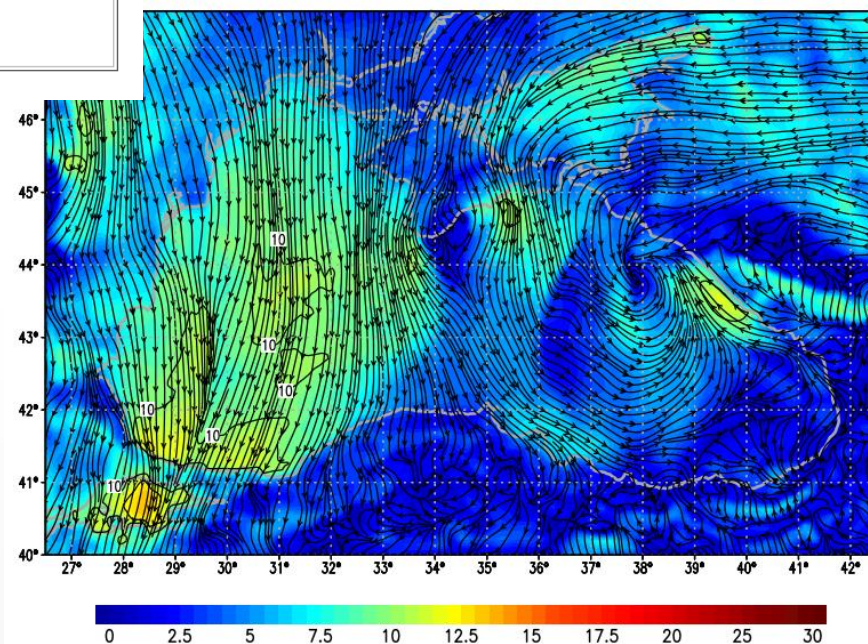
Wind wave model - WAM



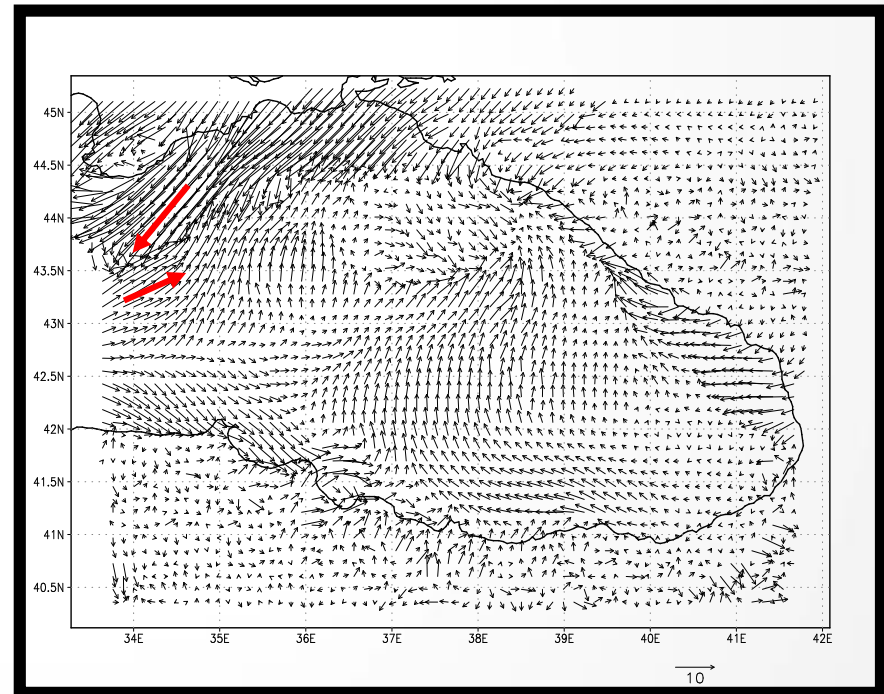
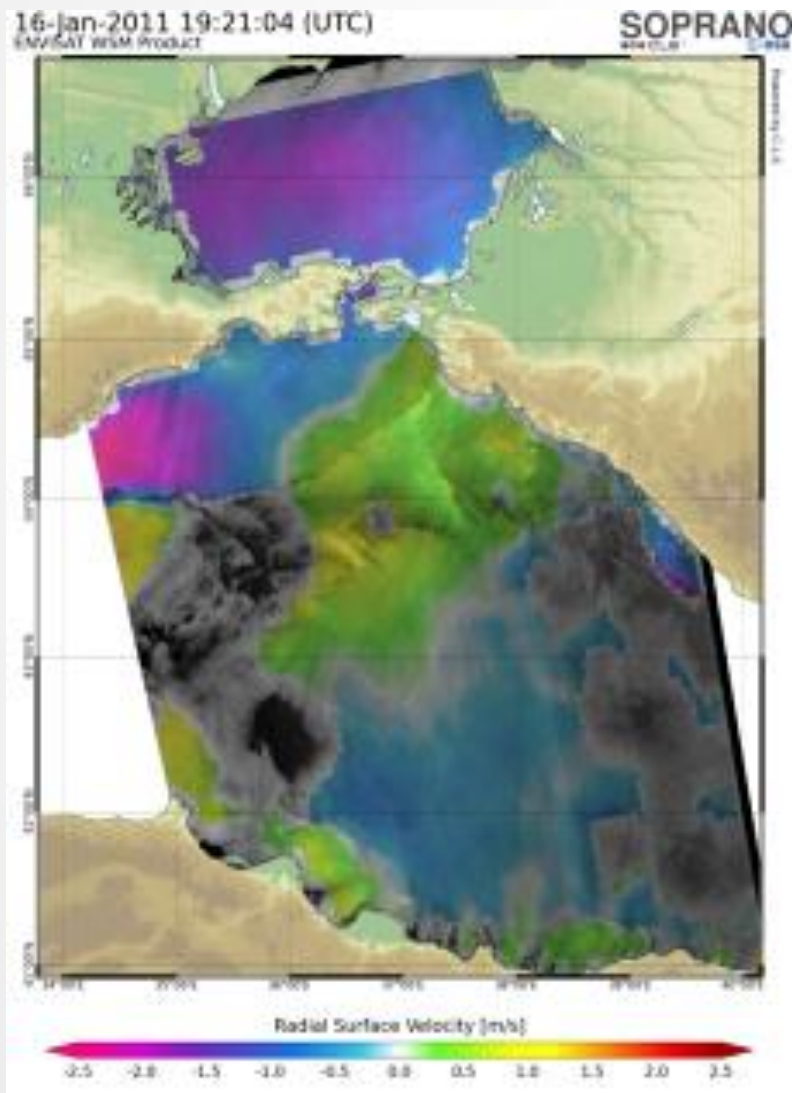
[Russian font for GrADS](#)

5DEC2018

10m wind, m/s

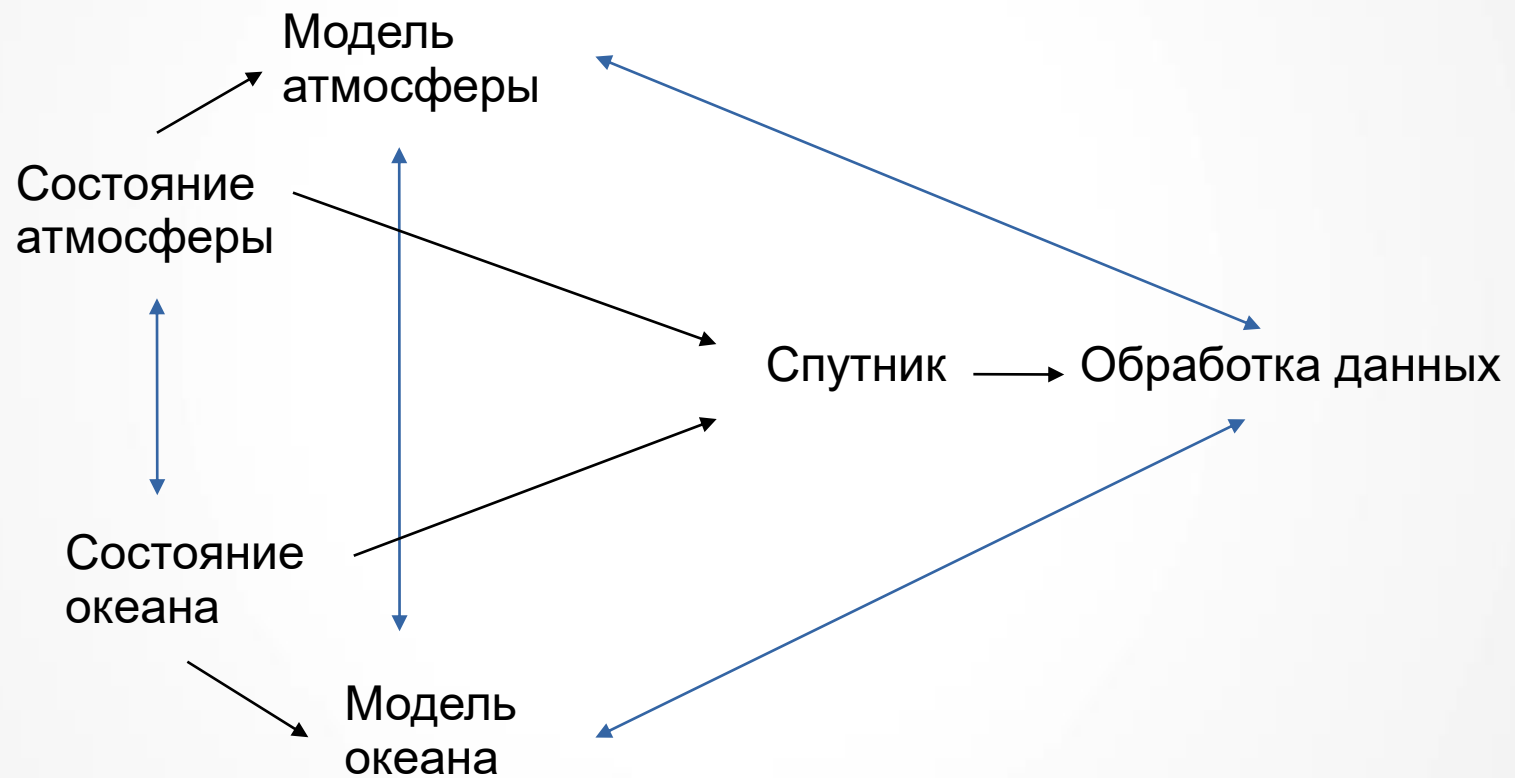


Тестирование алгоритмов обработки данных



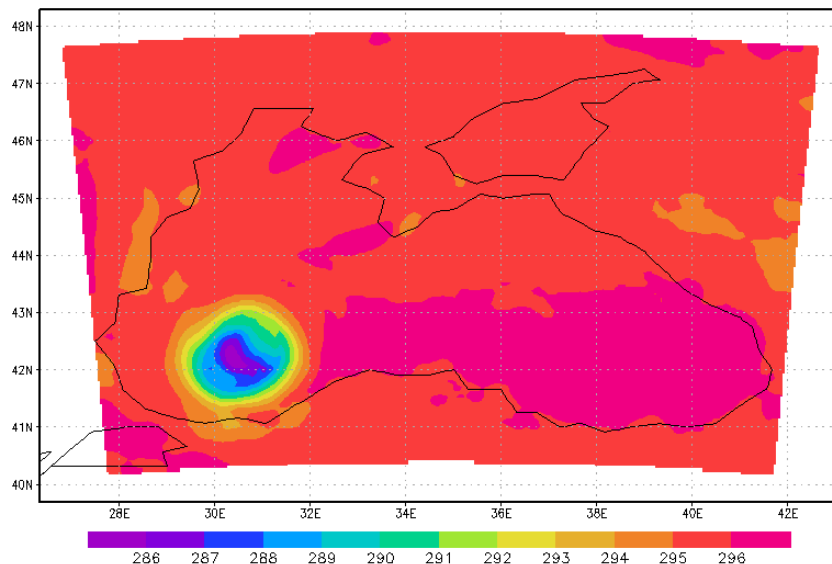
W.Alpers, A.Mouche et al. 2013

Перспективы совместных моделей

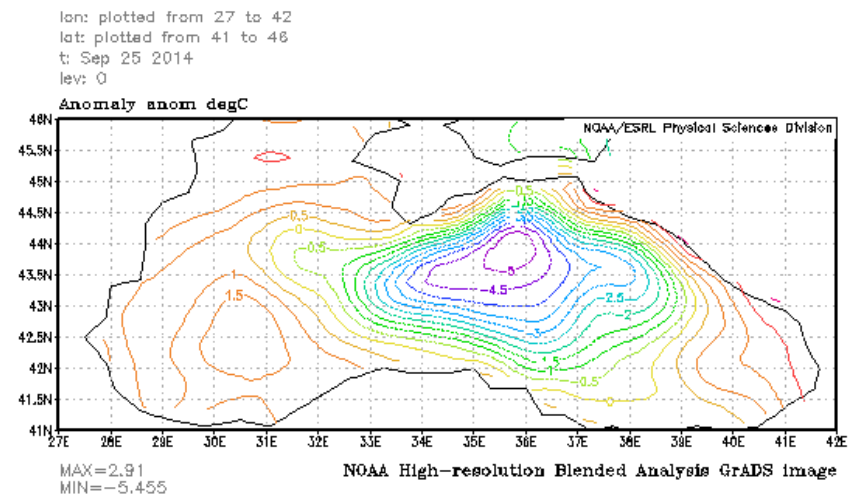


В ряде случаев наблюдается резкое и значительное изменение температуры поверхности моря на масштабах около 100 км, что влияет на локальный прогноз

Пример №1: квазитропический циклон в сентябре 2005г.



Пример №2: формирование холодной аномалии ТПМ в сентябре 2014г.



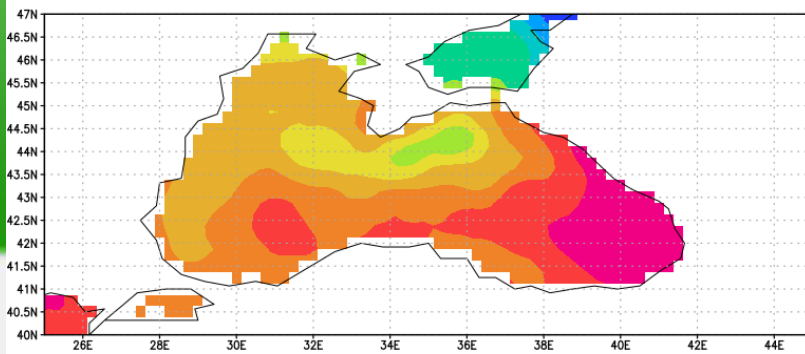
В обоих случаях тестировались совместные (coupled) модели атмосферы и океана.

WRF-PWP3d (Ефимов, Барабанов 2017, Известия РАН ФАО)

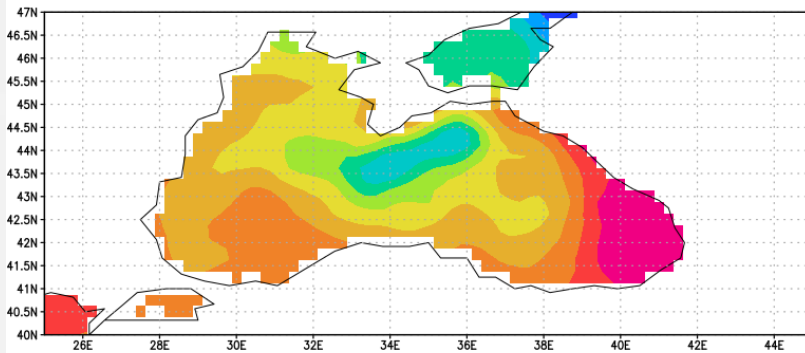
WRF-NEMO (Яровая и др. 2019)

Температура поверхности
Черного моря, °C, по данным
спутникового
радиометра AVHRR (OISST)

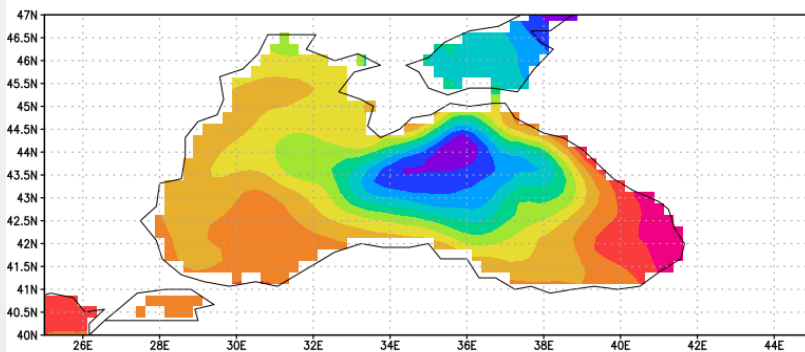
00Z 23 сентября 2014



00Z 24 сентября 2014



00Z 25 сентября 2014





WRF версии 3.7.1, NEMO версии 3.6, конфигурации по умолчанию

Для WRF начальные и граничные условия на основе GDAS 1°

Для NEMO начальные условия на основе реанализа МГИ (см. Мизюк 2016)

Горизонтальное разрешение 10 км,
по 29 вертикальных уровней, сетка 140x92

Старт 21 сентября 00:00, прогноз на семь суток

Обмен данными каждые 2 ч

Температура поверхности и ветер 20:00 UTC 25.09.14

