

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

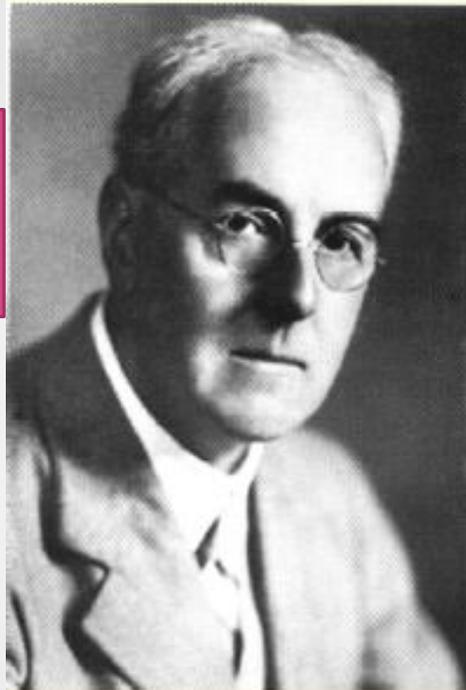
**ТЕМА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И
ПРАКТИКИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ, АНАЛИЗА И
ПРОГНОЗА ПОГОДЫ**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК



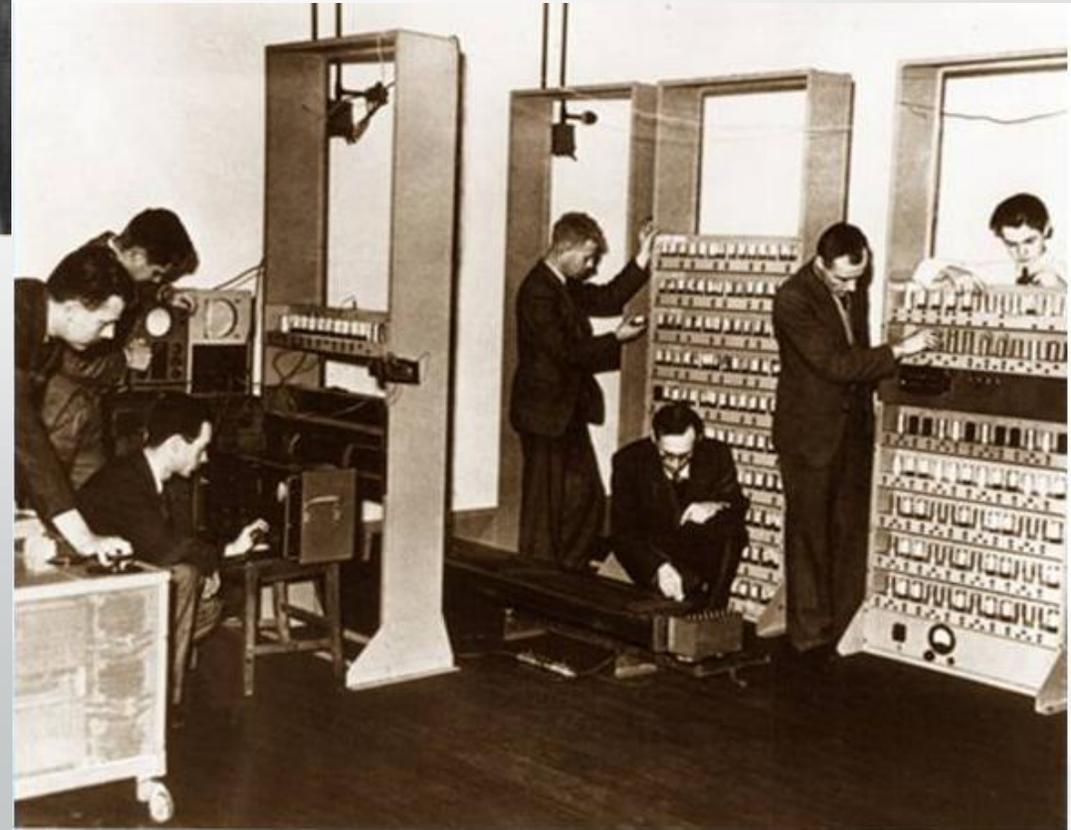
*Вильгельм
Фриман
Корен Бьеркнес*



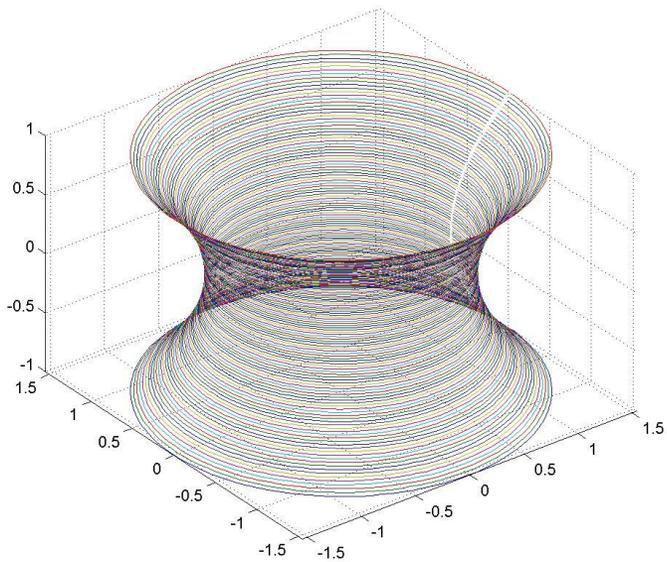
*Льюис
Фрай
Ричардсон*



*Кибель
Илья
Афанасьевич*



Первая ЭВМ, 1949г.



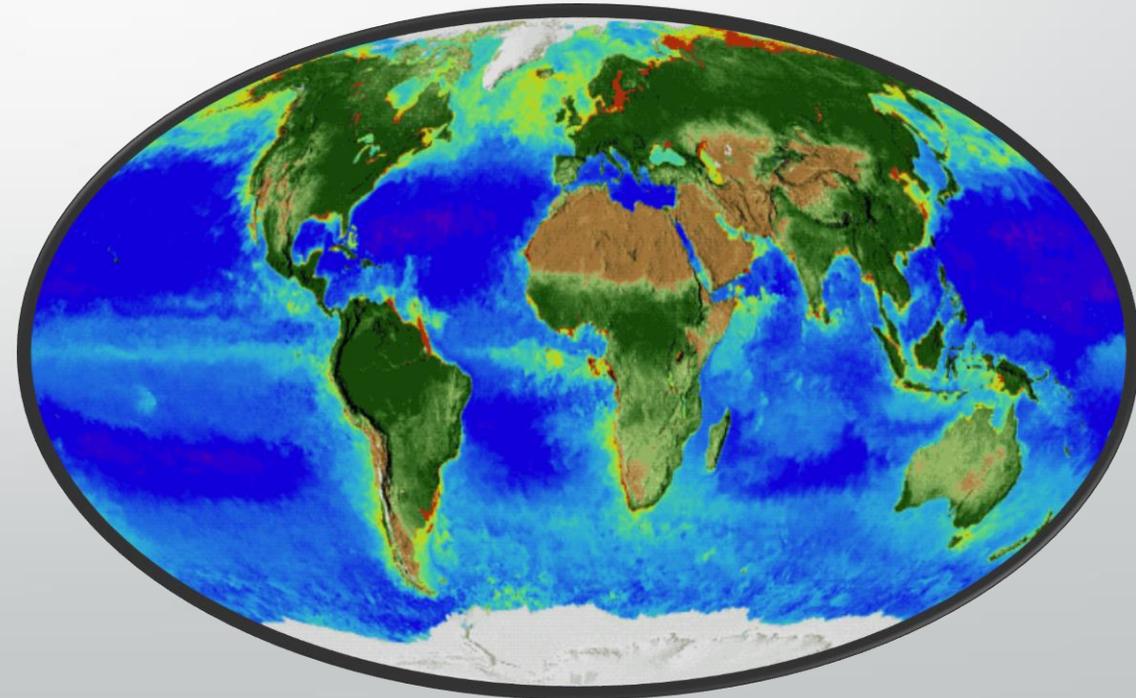
Компьютерная модель атмосферы в широком смысле представляет собой программное представление динамических, физических, химических и радиационных процессов в атмосфере. Наряду с дифференциальными уравнениями, такое представление включает в себя также параметрические и эмпирические уравнения. Для широкого класса процессов величина используемого в конкретных вычислениях шага сетки не позволяет им адекватно воспроизводиться в процессе моделирования. В таком случае для их полноценного представления используются так называемые «параметризации».

ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ В ЗЕМНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Климат Земли =

=гидросфера+ атмосфера+ криосфера+ литосфера+ биосфера.

Новые структуры в сложных самоорганизующихся системах образуются в результате действия многочисленных обратных связей, как отрицательных (они гасят постоянно возникающие возмущения), так и положительных. Последние приводят к росту возмущений, которые затем могут перерасти в новые структуры.



УСРЕДНЕННЫЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД

Соответствующее время прогнозируемого поведения, которое называют иногда горизонтом предсказуемости, оказывается достаточно коротким, в условиях земной атмосферы обычно не более 7-10 дней.

При описании климатических изменений усреднение должно распространяться на промежутки времени не менее одного года и на значительные пространственные области, размеры которых не должны быть меньше 3-5 градусов по широте и долготе.

Предельным случаем усреднения является так называемая нуль-мерная, то есть точечная, модель Земли, которая описывает климат при помощи единой для всего земного шара температуры T . Эту температуру можно найти, приравняв падающий на земной диск поток коротковолнового (оптического) излучения потоку длинноволнового (инфракрасного) излучения, покидающего поверхность Земли. В соответствии с законом Стефана-Больцмана поток уходящего излучения пропорционален четвертой степени температуры. Такой усредненный подход дает разумные оценки средней по поверхности Земли температуры, но вовсе не описывает динамику климата.

Переход от статической нуль-мерной модели к протяженной модели климатической системы предполагает отказ от единой для всего земного шара температуры T в пользу непрерывного изменения усредненной температуры с широтой.

Модели, претендующие на описание переменного климата, должны включать в рассмотрение более инерционные, чем атмосфера, звенья климато-экологической системы, а именно: океан и арктические льды. Кроме того, по техническим причинам и по существу проблемы приходится разбивать поверхность земного шара на конечное число элементов либо по формальному признаку, скажем несколько широтных зон, либо с привязкой к особенностям строения материков и океанов.

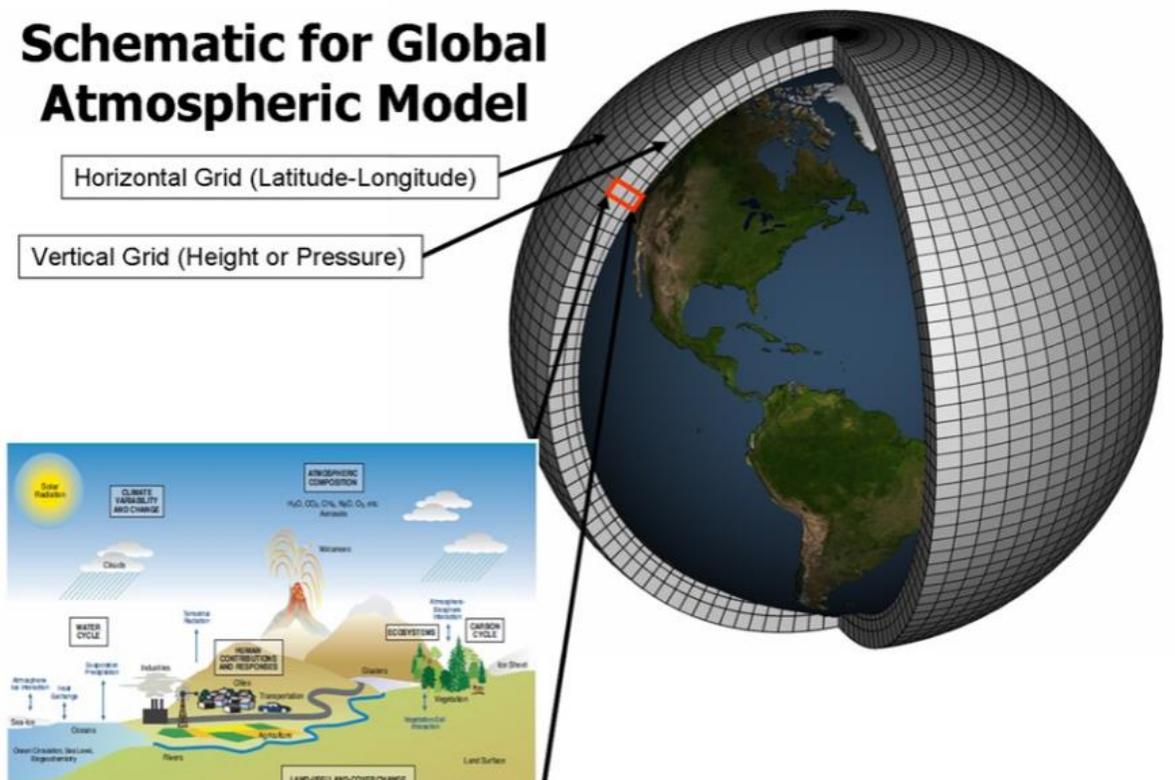
Независимо от того, как именно разбивается поверхность земного шара на элементы, динамические уравнения строятся по стандартной балансной схеме: скорость изменения какой-либо величины G_i в выделенной области V_i определяется скоростью обмена $g_i k$ (теплом, влагой, солью и т.д.) i -го элемента с соседними элементами k и скоростью g_i поступления (убыли) величины G_i от внешних источников.

Скорость изменения величины G_i в области $V_i =$

$=$ сумма потоков $g_i k$ со стороны соседних элементов
 $+$

$+$ производство (убыль) g_i в элементе V_i .

Schematic for Global Atmospheric Model



Математические модели

Дискриптивные
(описательные
модели)

Детерминированные,
т. е. точные и
определённые.

Вероятностные

Неопределённые
задачи

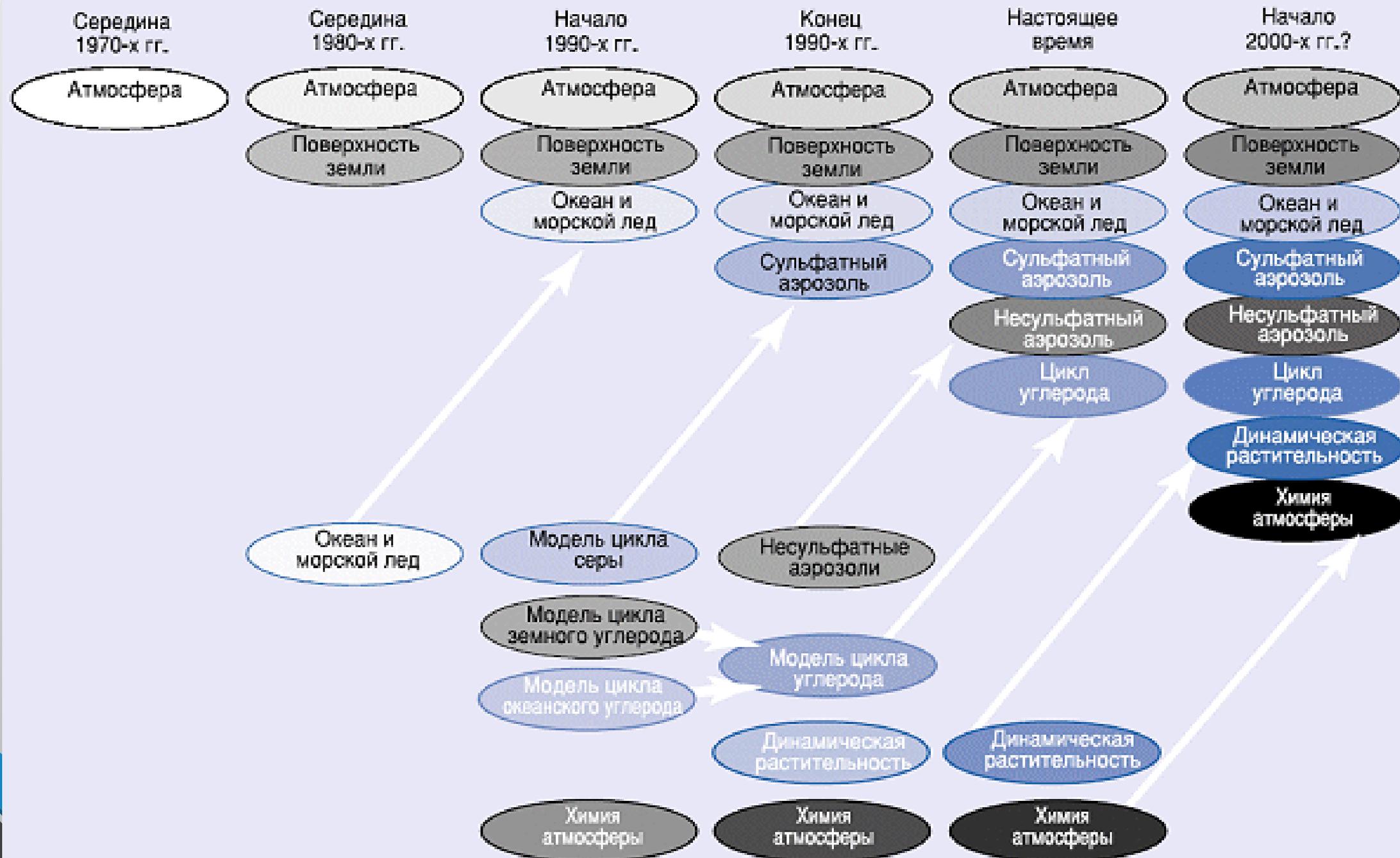
Стохастические
задачи

Оптимизационное

Системы массового
обслуживания

Имитационное
моделирование

Развитие климатических моделей — прошлых, настоящих и будущих





Спасибо за внимание!

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПОГОДЫ И КЛИМАТА**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

Физическое и математическое моделирование

- *Физическое моделирование* - вид моделирования, который состоит в замене изучения некоторого объекта или явления экспериментальным исследованием его модели, имеющей ту же физическую природу.
- *Математическое моделирование.*
Метод изучения физических процессов путём изучения явлений, имеющих другую физическую природу, но описываемых теми же самыми математическими соотношениями.

Виды математического моделирования

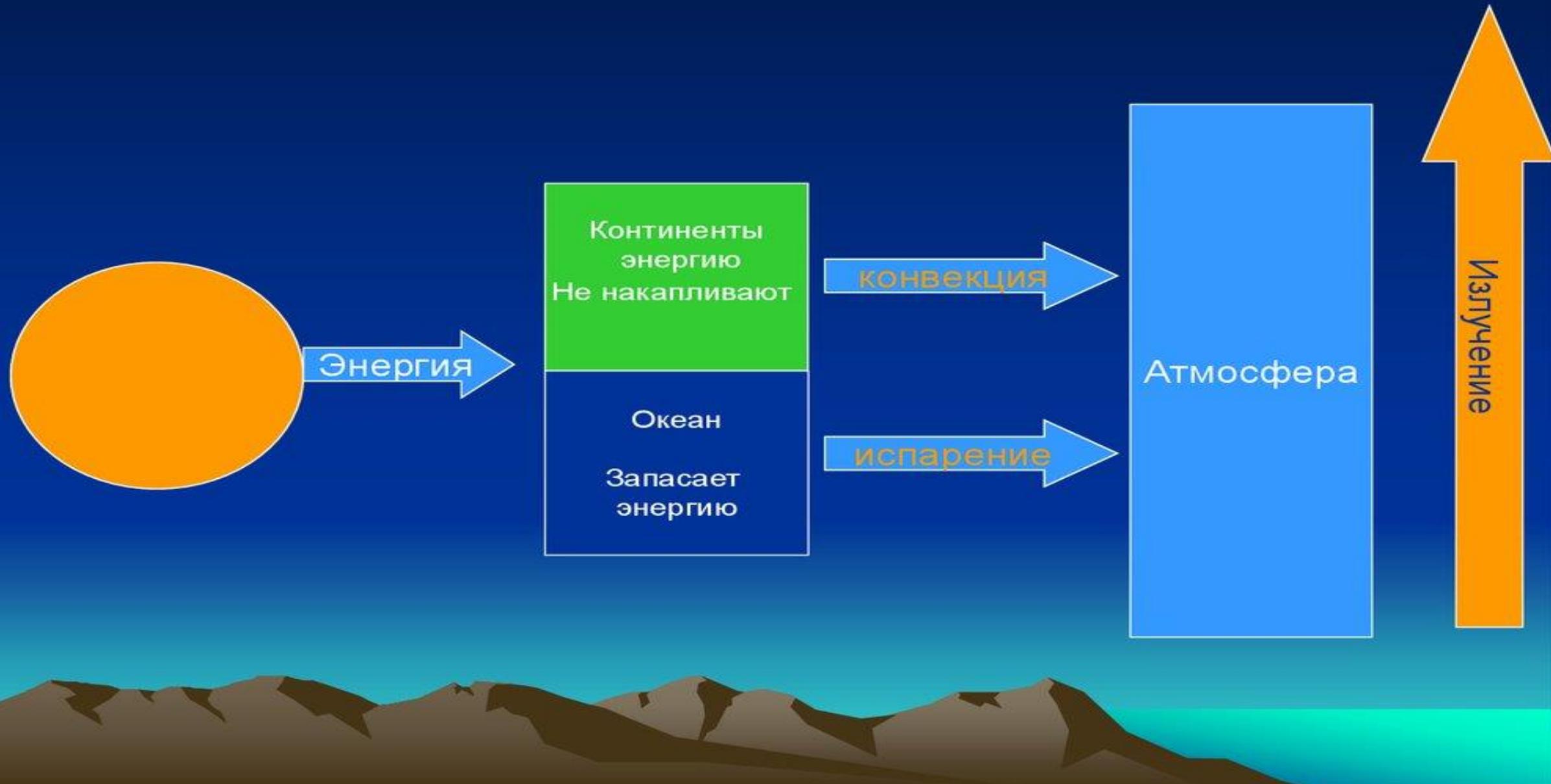
- **Аналитическое моделирование.**
Процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений или логических условий.
- **Имитационное моделирование.**
Реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы.
- **Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование** при анализе и синтезе систем позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования.

Физическое моделирование

- Процессы, протекающие в модели и в оригинале, имеют одинаковую физическую природу.
- *Физическая модель* физически подобна реальной системе.
- Физическая модель может отличаться от оригинала размерами, скоростью протекания процессов или материалами, из которых она изготовлена. Физическая модель может наиболее полно воспроизвести такие свойства оригинала, которые при теоретическом изучении не могут быть учтены в полной мере.
- Теоретической базой физического моделирования является теория подобия. Теория подобия позволяет пересчитать количественные характеристики, полученные при изучении модели, в количественные характеристики подобия.
- При физическом моделировании необходимо для каждой конкретной системы создавать свою модель.

При изучения водных объектов, ученые все чаще прибегают к методу математического моделирования. Использование моделей движения водных потоков в речной системе позволяет исследовать гидрологический режим, для любого временного отрезка и делать прогнозные оценки в целях профилактики и предупреждения возникновения чрезвычайных экологических ситуаций.

Климатическая машина



Фундаментальные законы физики и их использование для изучения водных объектов

Метеорологические процессы протекают в соответствии с фундаментальными законами физики, поэтому гидрология широко использует сформулированные в классической физике (при скоростях движения, намного уступающих скорости света) законы сохранения вещества, тепловой и механической энергии, количества движения.

- Закон сохранения вещества
- Закон сохранения энергии
- Закон сохранения механической энергии
- Закон сохранения количества движения (импульса).

Закон сохранения вещества

- В физике: означает неизменность массы в замкнутой (изолированной) системе.
- Водные объекты - открытые системы, поэтому в гидрологии этот закон определяет равновесие между приходом, расходом вещества и изменением его массы в пределах объекта.
- Это относится не только к воде, но и содержание в ней наносам, солям, газам и т.д.
- Уравнение баланса, применительно к водному объекту и к любому замкнутому контуру:

$$\Delta m = m^+ - m^-$$

Единицы измерения – единицы массы (кг), но можно выражать и в объеме.

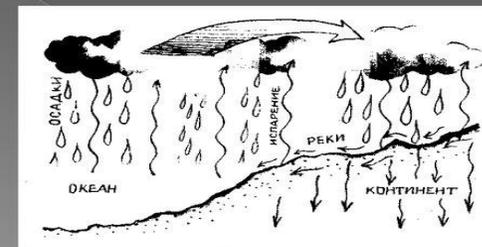


Закон сохранения энергии

- В физике: неизменность энергии в замкнутой системе с учетом возможного перехода одного вида энергии в другой.
- В гидрологии: определяет условия баланса прихода и расхода теплоты и изменения теплосодержания объекта.
- Уравнение теплового баланса:

$$\Delta Q = Q^+ - Q^-$$

- Q^+ - что пришло, теплота при переходе механической энергии в тепловую, а также при ледообразовании – конденсации водяного пара, разложении веществ.
- Q^- - что ушло, затраченной на испарение, плавление льда, химические и биохимические процессы.
- Единицы измерения- Дж.



Закон сохранения механической энергии

$$E = E_{\text{пот}} + E_{\text{кин}} + E_{\text{дис}}$$

E - полная энергия
 $E_{\text{пот}}$ - потенциальная энергия
 $E_{\text{кин}}$ - кинетическая энергия
 $E_{\text{дис}}$ - затраты на трение-диссоциация энергии.



- В гидрологии: определяет характер перехода потенциальной энергии (энергия покоящейся воды) в кинетической энергии движущегося потока.

Закон сохранения количества движения (импульса)

- В физике: в пределах замкнутой системы количество движения остается неизменным:

$$m(\alpha V / \alpha t) = 0$$

m -масса системы
 $\alpha V / \alpha t$ -ее ускорение (ед.изм. Дж).

- В гидрологии: закон изменения движения (импульса): изменение количество движения открытой системы равно сумме всех сил, действующих на систему.

Уравнение движения:

$$m(dV/dt) = \Sigma F$$

Единицы измерения силы- Н или кг•м/с²



Рис. 4. По закону о сохранении движения $(m+M)v = mv_1 + Mv_2$.

Основные физические процессы подсеточного масштаба, учитываемые в моделях атмосферы.





Спасибо за внимание !

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 3. ОРБИТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ, ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

Способы и методы наблюдения за погодой

Для прогноза погоды метеорологи используют высокотехнологичное оборудование на земле, на воде и в космосе

Способы наблюдения за погодой

Метеоспутники

Расположены над определенными точками экватора на расстоянии около 36 тысяч км. Они обеспечивают практически полный обзор земной поверхности (за исключением полюсов)



Полярно-орбитальные спутники

Двигаются от полюса к полюсу на относительно небольшой высоте вдоль меридианов и дают непрерывно меняющуюся подробную картину погоды

Метеобуи

Дрейфуют вместе с океанскими течениями и через спутники автоматически передают показания приборов на метеостанции



Стационарная метеостанция

Единая сеть Всемирной метеорологической организации включает 10 тысяч стационарных метеостанций. Каждые 3 часа данные измерений с этих станций передаются по телефону в 13 центров, расположенных по всему миру

Метеорологическое наблюдение – наблюдения за погодой у земли (облачность, снег, дождь, скорость ветра, видимость, температура, влажность, давление и т.д.)

Радиозонды

В полночь и в полдень по Гринвичу по всему миру в верхние слои атмосферы запускаются сотни радиозондов, наполненных гелием. Автоматическая аппаратура измеряет влажность, давление и температуру воздуха на протяжении всего полета. Данные передаются на землю по радио

Аэрологическое наблюдение – зондирование атмосферы (измерение скорости ветра, давления, влажности, температуры с помощью радиозонда, который поднимается на высоту до 30–40 км)

Методы наблюдения за погодой



Синоптический метод – основан на анализе карт погоды. Одновременный обзор состояния атмосферы на обширной территории, позволяет определить характер развития атмосферных процессов и наиболее вероятное изменение погодных условий в интересующем районе



Статистический метод – на основе прошлого и настоящего состояния атмосферы прогнозируется состояние погоды на определенный будущий период времени

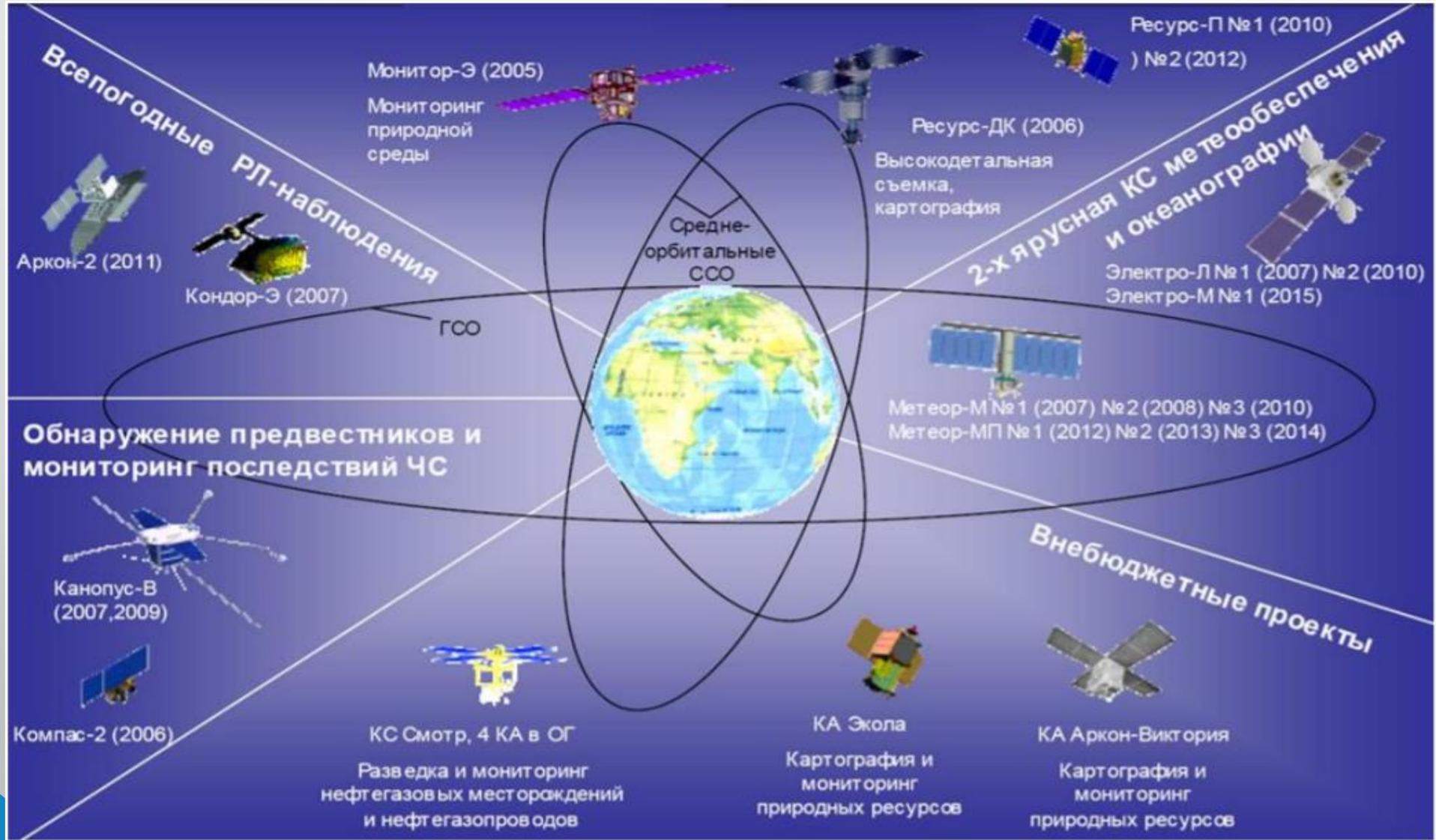


Численный (гидродинамический) метод – основан на математическом решении системы полных уравнений гидродинамики и получении прогностических полей давления, температуры на определенные промежутки времени



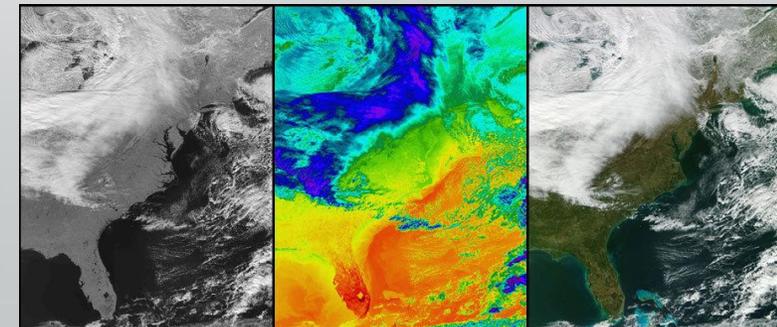
В Росгидромете установлен **суперкомпьютер** производства компании SGI. Он в 10 тысяч раз превосходит по производительности предыдущий и занимает шестое место в десятке самых мощных вычислительных машин России

- Космические аппараты для исследования данных о поверхности или недрах Земли оснащаются в основном оптической или радиолокационной аппаратурой. Преимущества последней заключаются в том, что она позволяет наблюдать поверхность Земли в любое время суток, независимо от состояния атмосферы.

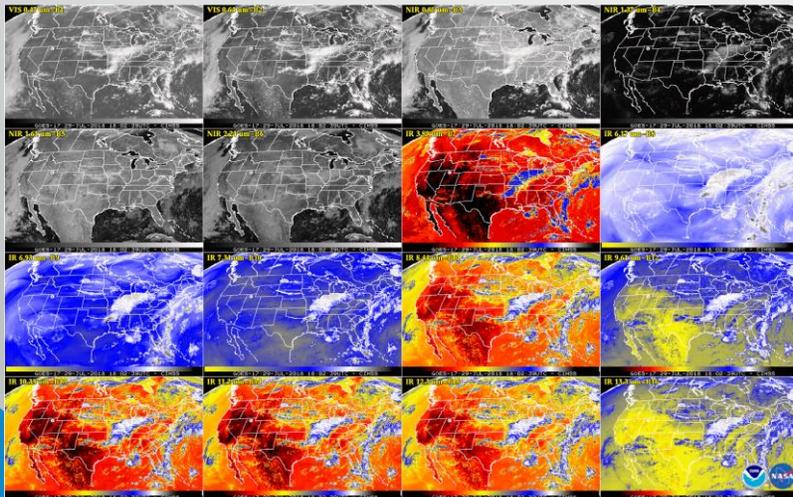


Перспективы развития метеорологических спутников Земли

- Прежде всего, техническое усовершенствование самого спутника. Оно идет по нескольким направлениям.
- Это — устройство спутника: новые датчики и аппаратура, автоматизация средств приема, обработки и распространения информации, скорость ее передачи. Предполагается, что на специальном метеорологическом спутнике будет находиться метеоролог-бортнаблюдатель.
- Находясь на разных высотах, спутники делают снимки облачности в разных масштабах. На американском исследовательском спутнике «АТС-3», запущенном над Атлантическим океаном, установлена телевизионная камера, позволяющая передавать цветные изображения.



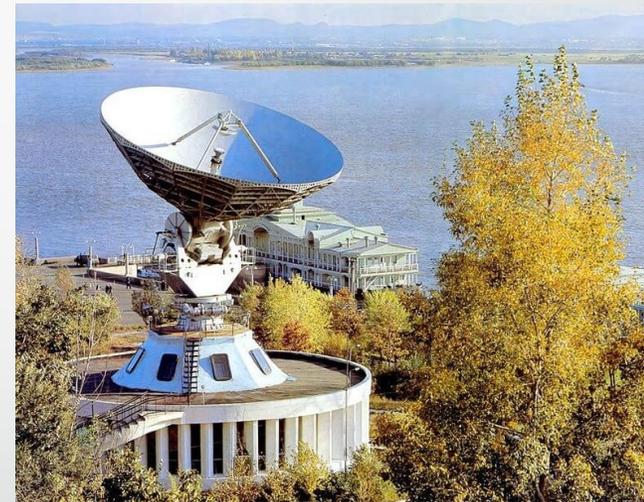
- Многие до сих пор еще неясные вопросы строения атмосферы можно будет разрешить с помощью учащенных снимков области — получатся уже как бы не отдельные фотографии, а кинолента, воспроизводящая динамику, ход происходящих процессов.
- В то же время расширяется программа метеорологических наблюдений: вертикальное зондирование атмосферы, получение информации о вертикальном профиле атмосферного давления, влажности, количестве и интенсивности осадков, содержании озона, высоте снежного покрова и др.
- Спутник может собирать информацию от наземных станций, работающих в таких труднодоступных районах, как океаны, высокие горы, пустыни, быть и ретранслятором.



16-панельное изображение показывает снимок континентальной части США и окружающих океанов по каждому из каналов расширенного базового тепловизора в 14:02 по восточноевропейскому времени 29 июля 2018 г.

Приём информации с метеорологических спутников

- В настоящее время на Земной орбите находится порядка 10 спутников, используемых в метеорологических целях. Эти спутники непрерывно сканируют поверхность и атмосферу Земли и осуществляют непосредственный сброс информации на землю в соответствующие научные центры, лаборатории и всем кто может принять.
- Приемная станция, находящаяся в зоне радиовидимости спутника, в реальном времени видит то, что видит спутник. Данные с него поступают непосредственно в момент съемки. Аппаратно изображение принимается не только в видимом спектре, но и на некоторых частотах инфракрасного диапазона.



Метеорологические спутниковые системы общая характеристика гидрометеорологической информации со спутников



Метеорологические спутниковые системы

Метеорологические спутниковые системы – это аппаратные комплексы, включающие орбитальные космические группировки ИЗС, предназначенные для дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли с целью получения метеорологической и климатической информации, наземные станции для управления ИЗС, получения, обработки и хранения спутниковой информации.

Основные задачи, решаемые с помощью метеорологических спутниковых систем:

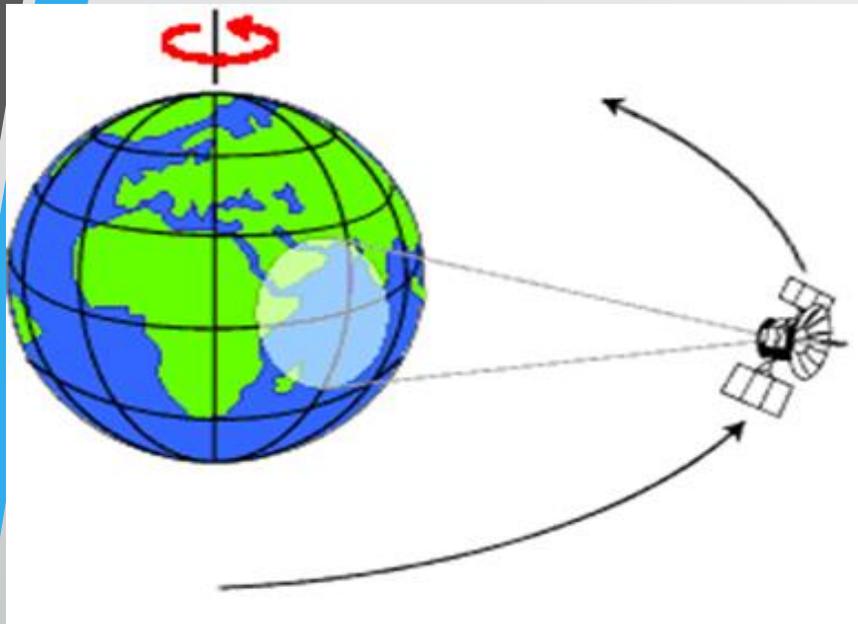
- Контроль за состоянием атмосферы и поверхности, в частности, обнаружение опасных погодных явлений, стихийных бедствий и катастроф.
- Осуществление прогнозов погоды различной долговременности.
- Исследования климата Земли и прогноз его возможных изменений.
- Научно-исследовательские задачи в области физики атмосферы, метеорологии и климатологии (исследование облачности, барических образований, струйных течений, верхней атмосферы, солнечно-земных связей и др.)

Основные типы ИЗС, входящие в состав метеорологических спутниковых систем

Космические аппараты, входящие в метеокомплексы, делятся на два типа по параметрам орбиты и, соответственно, по назначению:

- **Геостационарные** – орбиты для которых угловая скорость движения спутника совпадает со скоростью вращения Земли. Особенности: плоскость орбиты спутника совпадает с экваториальной плоскостью, радиус орбиты 36 тыс. км, спутник находится все время над одной точкой земной поверхности и зона его наблюдения ограничена пределами 50° СШ – 50° ЮШ, для такого спутника трудно обеспечить высокое разрешение аппаратуры, это, как правило, спутники связи, но есть геостационарные спутники наблюдения за погодой и облачностью.
- **Геополлярные** – угол наклона орбиты близок к 90° , т.е. орбита практически перпендикулярна плоскости экватора. Радиус орбиты порядка 1 тыс. км. Такие спутники относятся к низкоорбитальным системам. Особенности: спутник через определенный промежуток времени, зависящий от ширины полосы обзора, оказывается над районом наблюдения – сеансы наблюдения одних и тех же областей поверхности обычно проходят в различное местное время при разных условиях освещения солнцем, что сильно затрудняет сопоставление данных, поэтому такие спутники выводят, как правило, на «солнечно синхронные» орбиты, при этом выгоднее, чтобы восходящее движение спутника походило над теневой, а нисходящее над освещенной стороной земной поверхности.

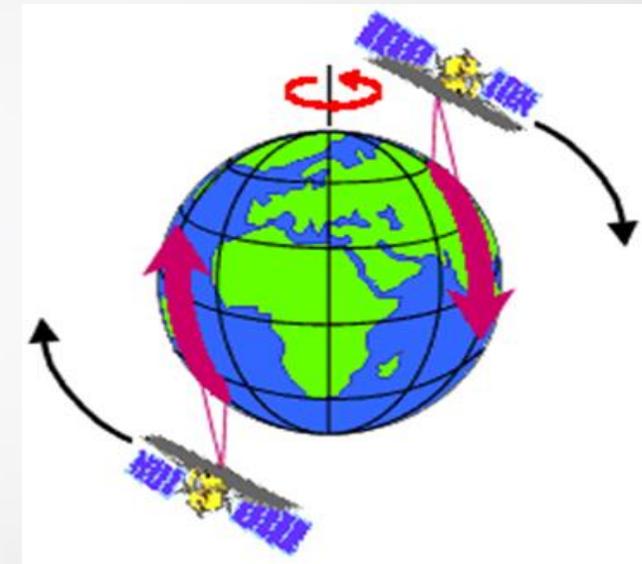
Основные орбиты размещения группировок метеорологических спутников



Геостационарная
геосинхронная
орбита



Полярная
солнечносинхронная
орбита



Восходящий и нисходящий участки полярной орбиты. Восходящий – на теневой стороне, изображения в IR – диапазоне. Нисходящий – на солнечной стороне, изображения в VIS и UV диапазонах.

Пример системы геостационарных спутников NOAA GOES-R (Geostationary Operational Environmental Satellite)

- Спутники серии GOES-R запускаются на геостационарную орбиту парами. Один – западный (135 W), другой – восточный (75 W). Орбита экваториальная, солнечно синхронная для обоих спутников
- Спутники запускаются с таким расчетом, чтобы одновременно наблюдать : GOES-WEST – Северную Америку и бассейн Тихого Океана, GOES-EAST – Северную и Южную Америки. Это позволяет непрерывно получать изображение земной поверхности днем и ночью. Покрытие от 20 W до 165 W.

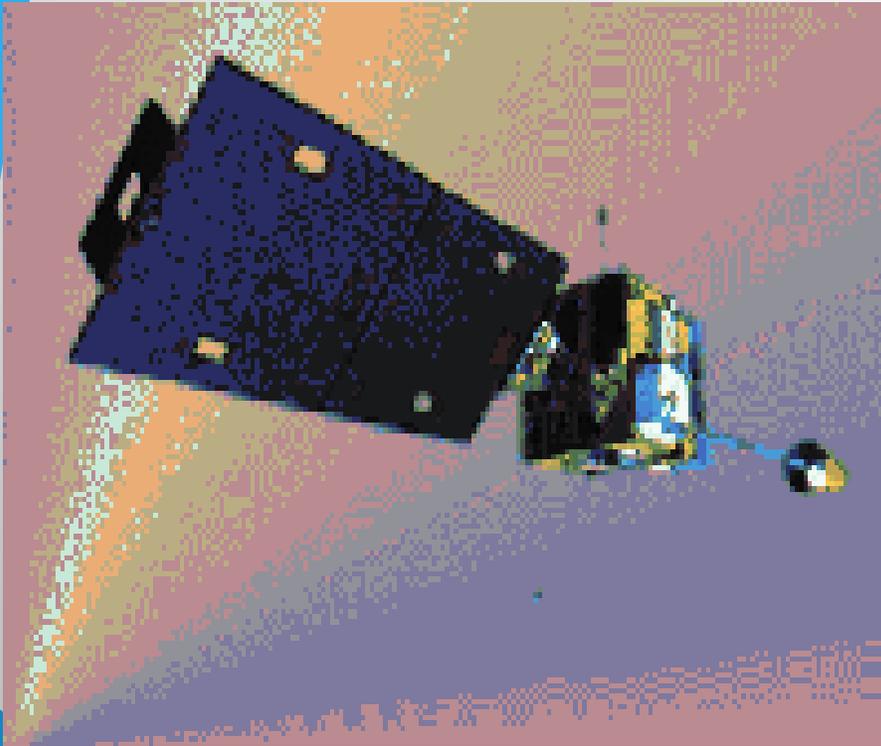


GOES WEST



GOES EAST

В настоящее время в космосе находятся спутники GOES-11 и GOES-12, а также работающий в неполном режиме спутник GOES-10, который служит ретранслятором и предохраняет всю систему от потери информации в режиме непрерывного и быстрого сканирования (изображение каждые 15 минут)

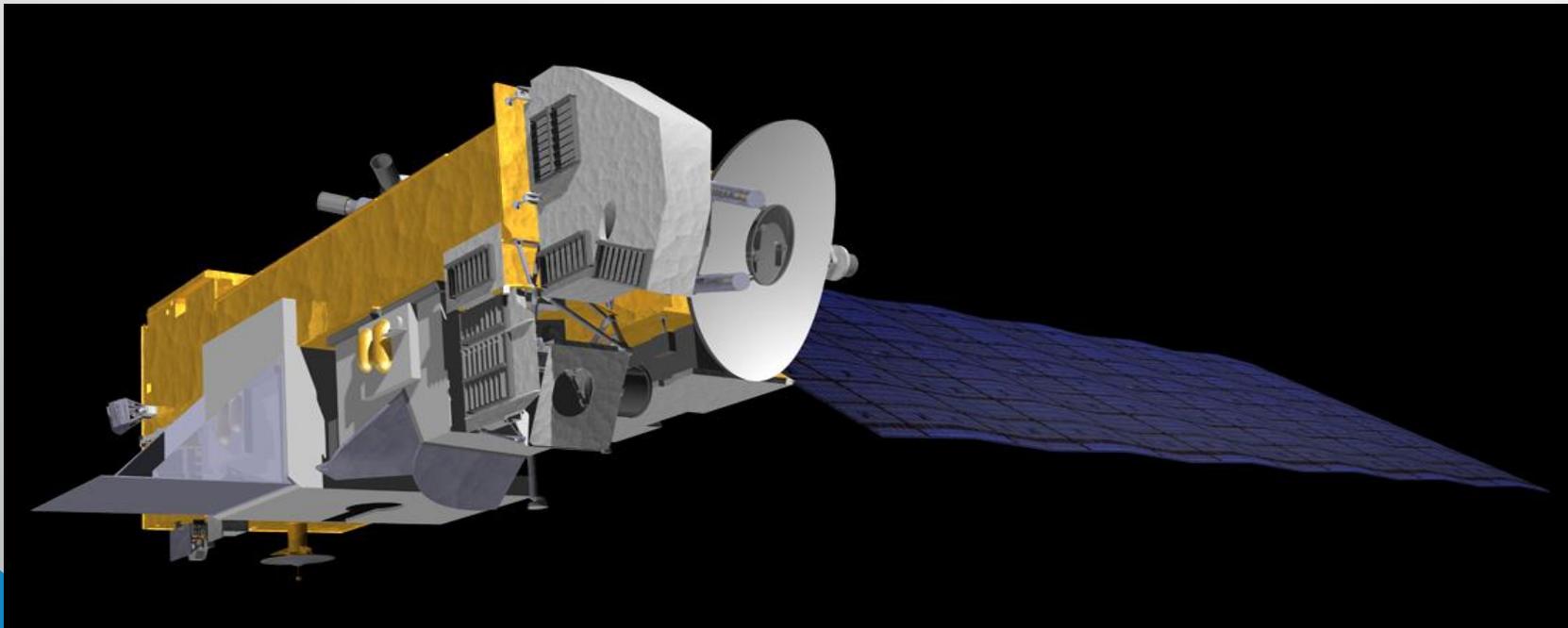


GOES-12 Characteristics

Main body:	2.5 m (8.1 ft) by 4.6 m (15.0 ft) by 2.9 m (9.4 ft)
Solar array:	4.8m (15.8 ft) by 2.7m (8.9 feet)
Weight at liftoff:	2105 kg (4641 pounds)
Launch vehicle:	Atlas I
Launch date:	July 23, 2001 Cape Canaveral Air Station, FL
Orbital information:	Type: Geosynchronous Altitude: 35, 786 km (22, 236 statute miles) Period: 1,436 minutes Inclination: 0.41 degrees
Sensors:	Imager Sounder Space Environment Monitor (SEM) Solar X-Ray Imager (SXI) Data Collection System (DCS) Search and Rescue (SAR) Transponder

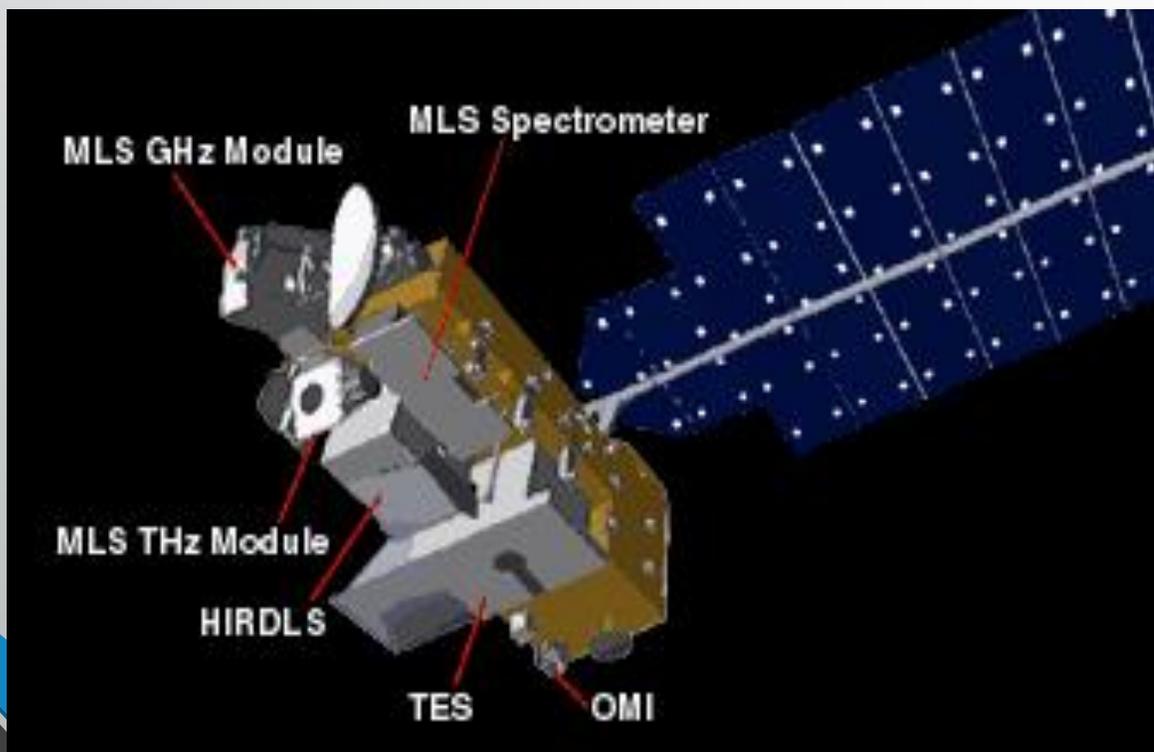


Спутник AURA



Пример приполярного низкорбитального спутника NASA EOS AURA

Aura — научно-исследовательский спутник на приполярной солнечно-синхронной орбите, предназначенный для изучения атмосферы Земли.



Orbital elements	
Eccentricity	0.00028312
Inclination	98.2°
Apoapsis	688 km (428 mi)
Periapsis	684 km (425 mi)
Orbital period	98.5 minutes

Инструменты дистанционного зондирования спутника Aura

- **HIRDLS (High Resolution Dynamic Limb Sounder)** инфракрасный радиометр высокого разрешения, предназначен для измерения температуры и концентрации газовых примесей в различных слоях атмосферы.
- **MLS (Microwave Limb Sounder)** микроволновый радиометр, предназначен для измерения концентрации химических соединений, ответственных за разрушения озона в различных слоях атмосферы.
- **OMI (Ozone Monitoring Instrument)** спектрометр, предназначен для измерения интенсивности отражённого и рассеянного в атмосфере солнечного излучения.
- **TES (Tropospheric Emission Spectrometer)** тропосферный эмиссионный спектрометр, предназначен для измерения теплового излучения поверхности Земли.
- Приборы MLS и TES были разработаны и изготовлены Лабораторией реактивного движения (JPL). Прибор HIRDLS был разработан совместно Университетом штата Колорадо, Национальным центром атмосферных исследований (NCAR) (США), Оксфордским университетом и Лабораторией Резерфорда-Эплтона (Великобритания). Прибор OMI был разработан совместно Финским метеорологическим институтом и Агентством космических программ Нидерландов (NIVR).

ВАЖНО ПОМНИТЬ!

- Запуск **геостационарных спутников** производится в экваториальной плоскости, в направлении вращения Земли на высоту **36 786 км** над уровнем моря. При этом их угловая скорость соответствует скорости вращения планеты. Имея такие орбитальные характеристики, спутники этого типа находятся всегда над одной точкой, если не учитывать колебания и «дрейф», вызванные погрешностями при выводе на орбиту и гравитационными аномалиями. Они постоянно наблюдают одну область, составляющую около 42 % земной поверхности – немного меньше, чем полушарие. Эти спутники не позволяют наблюдать области самых высоких широт и не дают детального изображения, зато предоставляют возможность непрерывного слежения за обстановкой в крупных регионах.
- **Полярные спутники** движутся по гораздо более низким орбитам – **от 850 до 1000 км**, вследствие чего не обеспечивают широкого охвата наблюдаемой территории. Однако орбиты их обязательно проходят над полюсами Земли, и один спутник такого типа способен за определенное количество витков «снять» всю поверхность планеты узкими (около 2500 км) полосами с хорошим разрешением. При одновременной работе двух спутников, находящихся на солнечно-синхронных полярных орбитах, обзор каждого района производится с интервалом 6 часов.

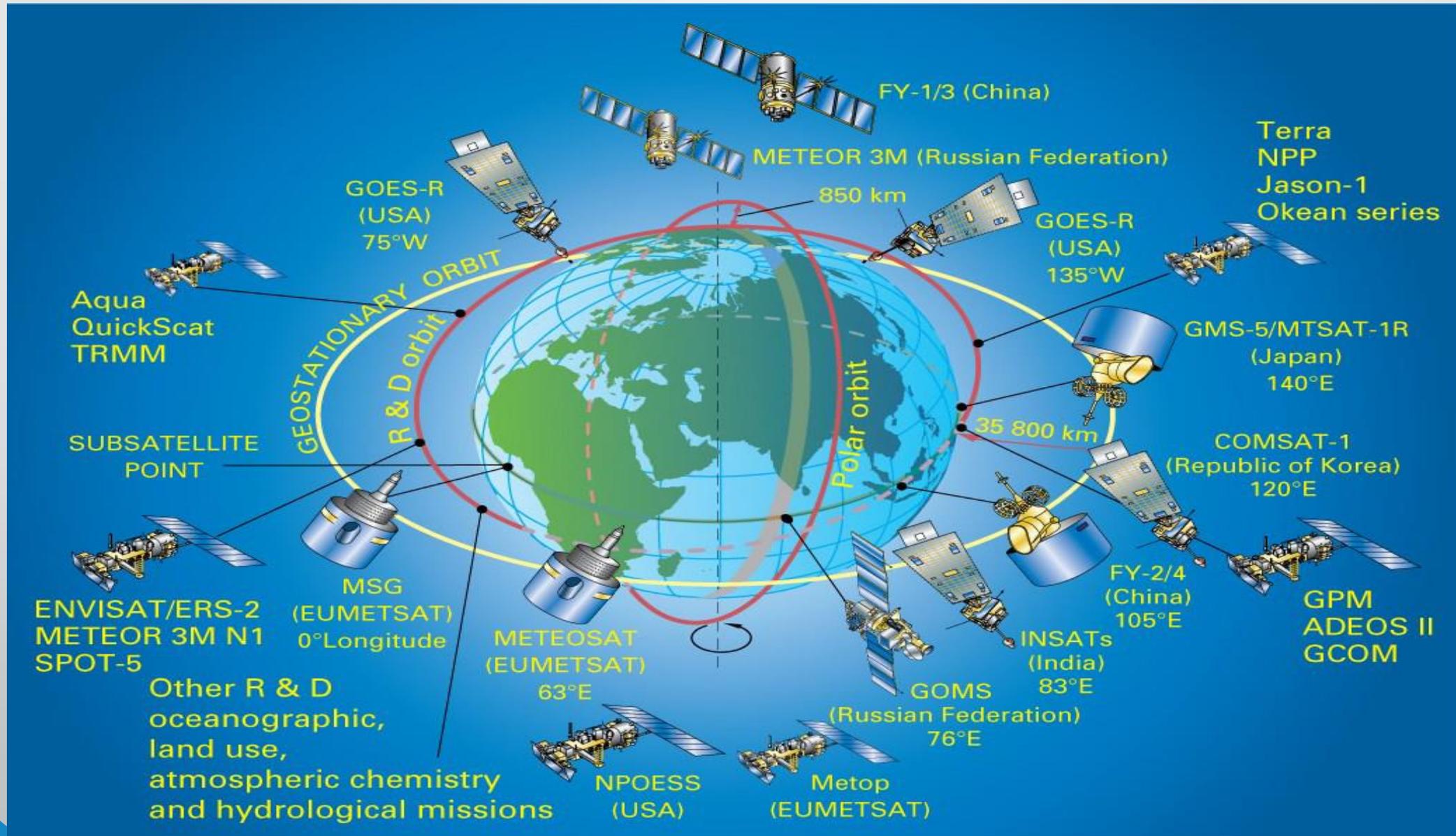
Как правило, метеоспутники несут в составе своего аппаратного комплекса два типа приборов:

- **Обзорные.** С их помощью получают телевизионные и фотоизображения поверхности суши и океанов, облачного, снежного и ледового покрова. В числе этих приборов – не менее двух устройств многозональной съемки в различных диапазонах спектра (видимом, микроволновом, инфракрасном). Они производят съемку с разным разрешением. Спутники также оснащаются установкой радарного сканирования поверхности.
- **Измерительные.** Посредством приборов этого типа спутник собирает количественные характеристики, отражающие состояние атмосферы, гидросферы и магнитосферы. К таким характеристикам относятся температура, влажность, радиационная обстановка, текущие параметры геомагнитного поля и т. д.

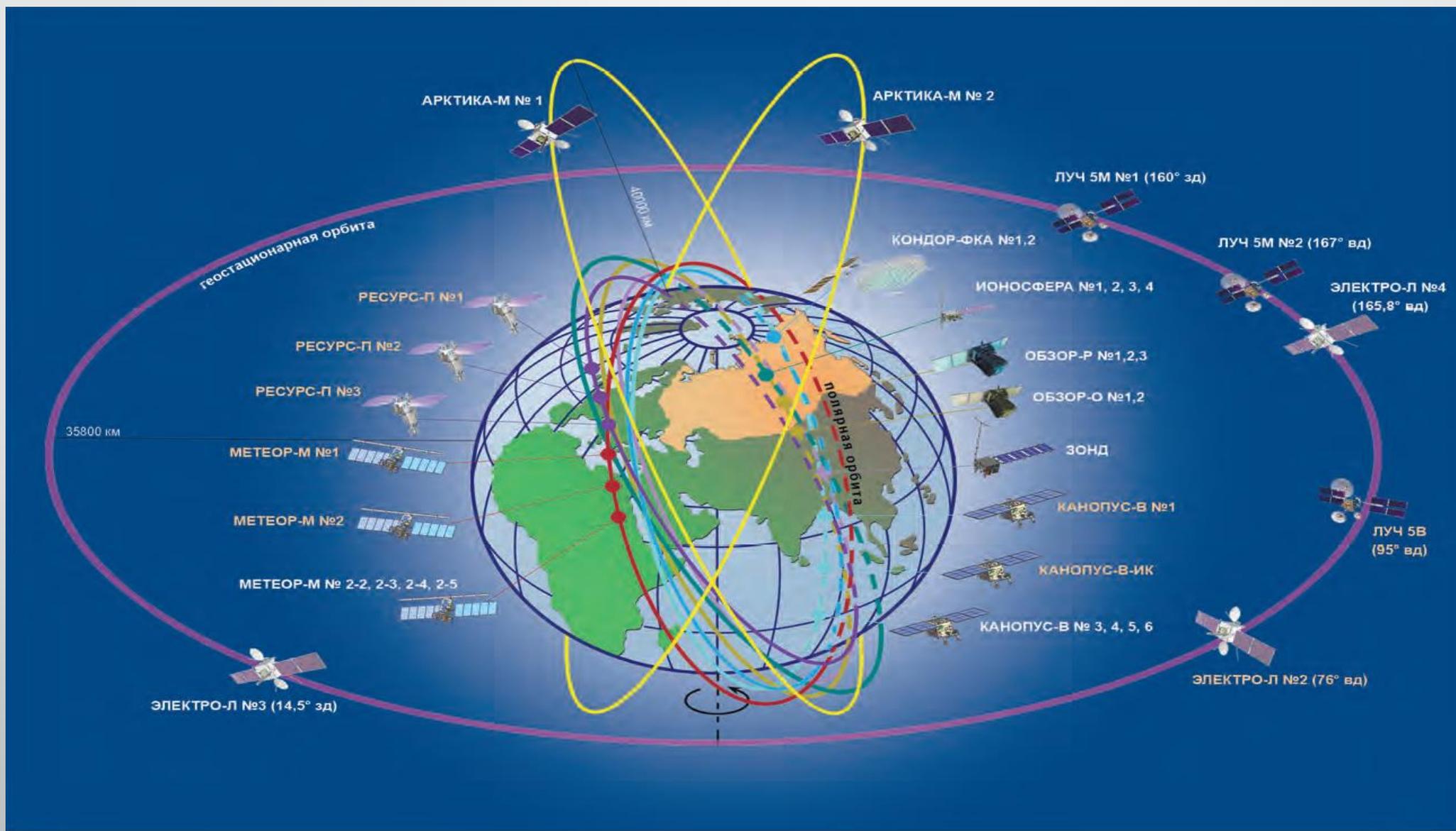
ВАЖНО ПОМНИТЬ!

- **Срок действия спутников** ограничен и зависит от высоты его орбиты и установленной на нем аппаратуры.
- Низкоорбитальные спутники, испытывающие влияние земной атмосферы, требуют постоянной коррекции орбиты и срок их службы определяется запасом необходимого для этой цели топлива. Обычно применяемые космические жидкостные реактивные двигатели работают на маловодной перекиси водорода (концентрацией около 90%) или гидразине, разлагающихся в камере ЖРД в присутствии катализатора; образующийся высокотемпературный газ при истечении из сопла создает тягу. Запаса топлива может хватить на 10-15 лет, если коррекция проводится не слишком часто. Высокоорбитальным спутникам также требуется коррекция орбиты из-за влияния гравитационного поля Солнца, Луны и других планет.
- **Основное сокращение срока службы спутника** происходит из-за разрушения приборов интенсивным электромагнитным и корпускулярным излучением Солнца. Частичная потеря качества отдельных приборов становится заметной уже после 5 лет эксплуатации.
- Спутник может работать как в режиме запоминания информации с последующей передачей пакета данных на наземный комплекс приема и обработки, так и вести непосредственную прямую передачу. Получаемые наземным комплексом спутниковые данные подвергаются дешифрированию, в ходе которого осуществляется привязка информации по времени и картографическим координатам. Затем данные с разных космических аппаратов объединяются и подвергаются дообработке с созданием наглядно воспринимаемых изображений.

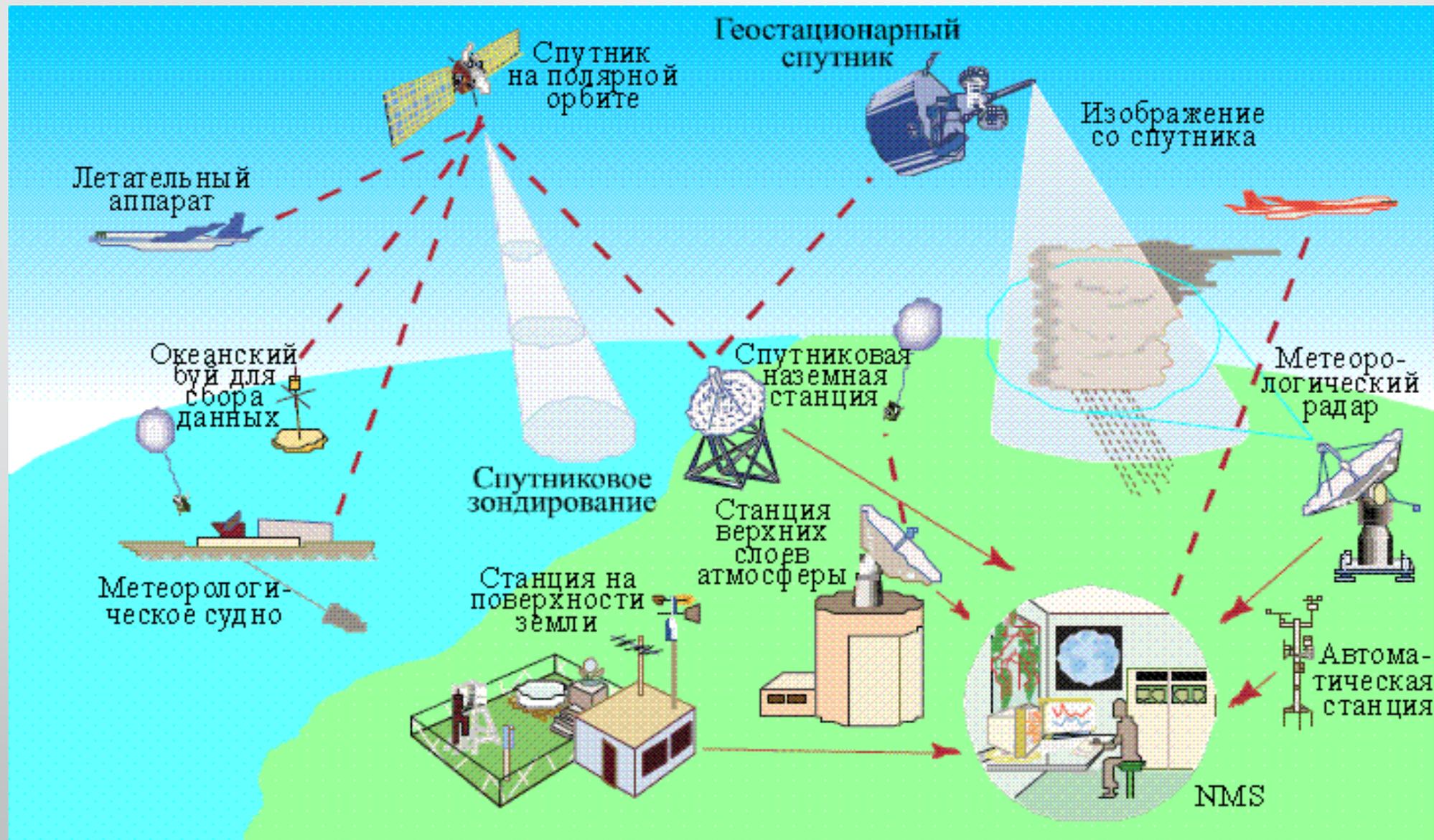
Международная группировка метео спутников



Группировка российских метео спутников



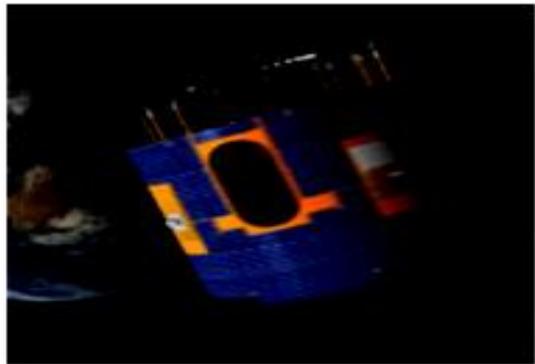
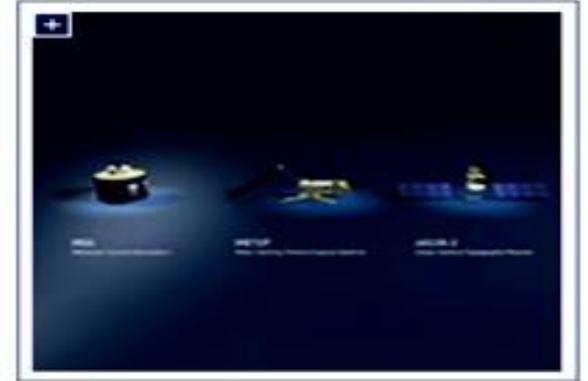
Общая схема спутниковой системы метеонаблюдений



Пример: Группировка спутников EUMETSAT

EUMETSAT has been running a fleet of meteorological satellites, providing weather and climate data, for more than 25 years.

NAME	PERIOD	NUMBER
▶ Meteosat First Generation (MFG)	1977–2017	7 geostationary satellites
▶ Meteosat Second Generation (MSG)	2004–2025	4 geostationary satellites
▶ Meteosat Third Generation (MTG)	2021–2039	6 geostationary satellites
▶ Metop	2007–2024	3 polar satellites
▶ EUMETSAT Polar System-Second Generation (EPS-SG)	2021–2040	2 polar satellites
▶ Jason	2009–2036	3 marine satellites
▶ Sentinel-3	2016–2024	2 marine satellites



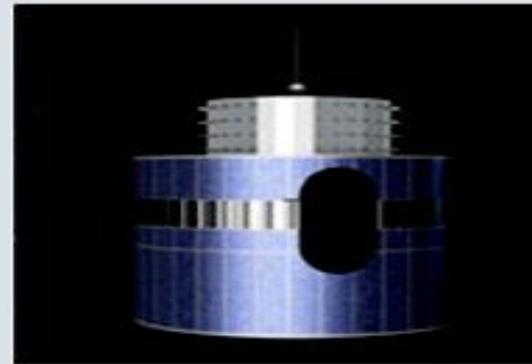
CURRENT SATELLITES

EUMETSAT's current satellite programmes from



FUTURE SATELLITES

Our future satellite programmes aim to



PAST SATELLITES

[Meteosat First Generation \(MFG\) geostationary](#)



GROUND SEGMENT

The ground segment constitutes the

Получение гидрометеорологической информации со спутников и ее географический анализ

- Прием информации со спутников станциями слежения
- Дешифровка и предварительная обработка полученных сигналов
- Коррекция и топографическая привязка изображений
- Тематическая обработка изображений
- Комплексная обработка многозональных изображений
- Морфологический и структурный анализ изображений
- Географический и метеорологический анализ
- Архивация данных и предоставление их потребителю

Архивирование данных ДЗЗ проводится с целью обеспечения их хранения в оперативном и долговременном архивах Оператора системы ДЗЗ для их последующего использования в интересах потребителей.

Оперативный архив обеспечивает хранение данных ДЗЗ в течение не менее 48 суток после её получения, а архив долговременного хранения – не менее 10 лет.

Одновременно аппаратно-программные средства комплекса архивации и ведения архива космической информации обеспечивают круглосуточный доступ к данным, хранящимся на средствах оперативного и долговременного хранения.



Комплекс архивации и ведения архива космической информации решает следующие задачи:

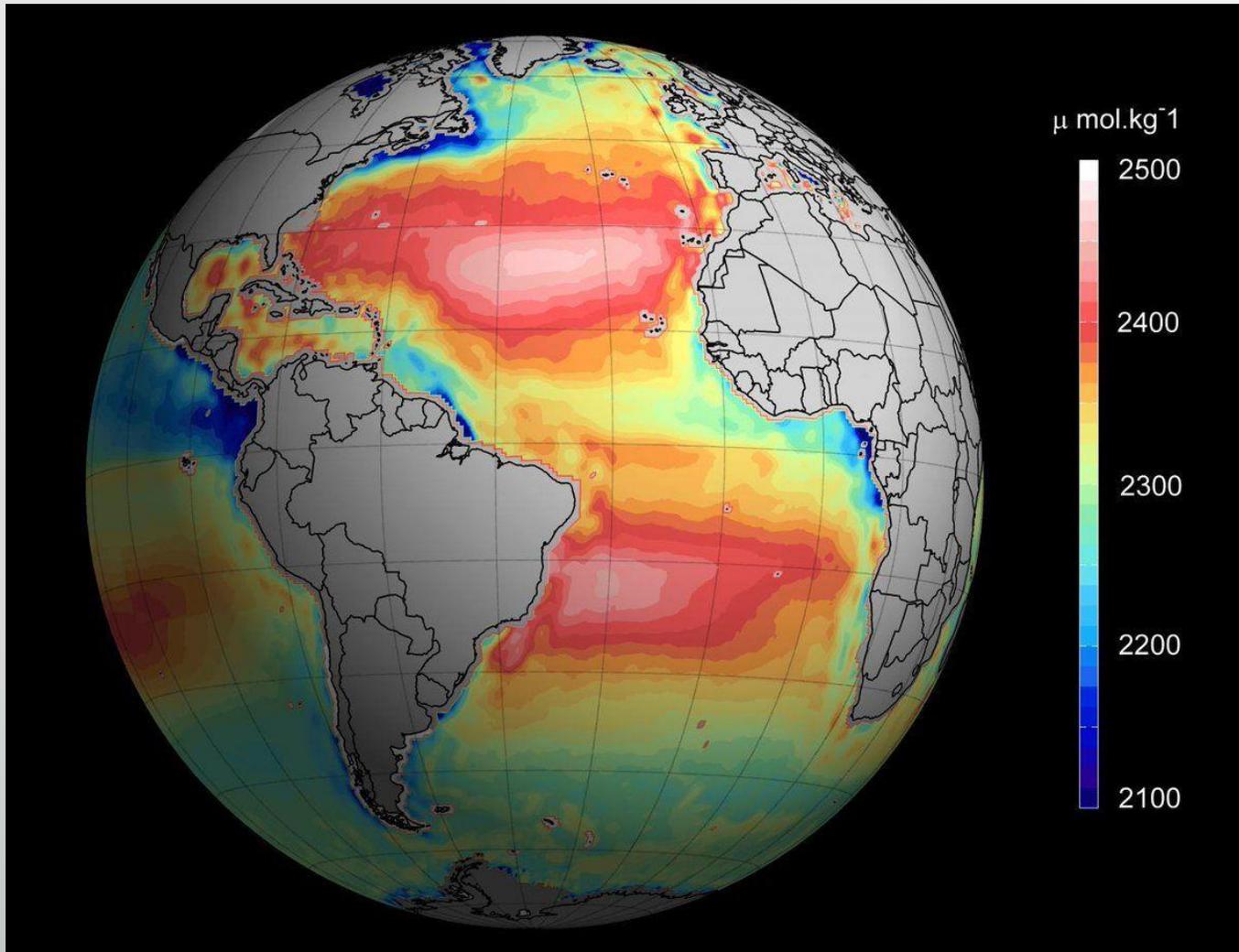
- формирование базы данных архива изображений, информации сопровождения (паспорта) и другого информационного материала;
- ведение базы данных архива космических изображений и метаданных с указанием актуального местоположения файлов;
- ведение архивов оперативного и долговременного хранения информации;
- автоматизированное управление средствами оперативного и долговременного хранения;
- автоматизированное предоставление отчётов по основным функциям (в том числе учёт обращений к носителю, количеству считываний с носителя и т. п.);
- хранение в течение не менее 48 суток информации, поступившей в буферный раздел сервера архивирования;
- архивирование файлов, поступивших для долговременного хранения.

Использование орбитальных наблюдений метеопараметров:

- Видимые и инфракрасные изображения поверхности Земли и атмосферы используются для получения данных о векторах ветра, которые усваиваются моделями численного прогноза погоды (ЧПП).
- Видимые и инфракрасные изображения используются для определения основных параметров облачности, характеристики барических образований, опасных атмосферных явлений и т.п.
- Вертикальные профили температуры и влажности в атмосфере, получаемые по данным атмосферных ИК и СВЧ зондировщиков, усваиваются в схемах ЧПП.
- Спутниковые оценки вертикального распределения концентрации озона в атмосфере дополняют данные озонзондов и также усваиваются в современных схемах ЧПП.
- Карты температуры поверхности океана по спутниковым данным используются при составлении сезонных прогнозов, особенно в тропических зонах, а также для оценки климатических трендов.
- Данные о ветре над океанической поверхностью (скорость и направление приводного ветра) используются при решении многих задач метеорологии, включая определение центров ураганов, изучение процессов, связанных с межсезонными изменениями климата (например, явления Эль-Ниньо).



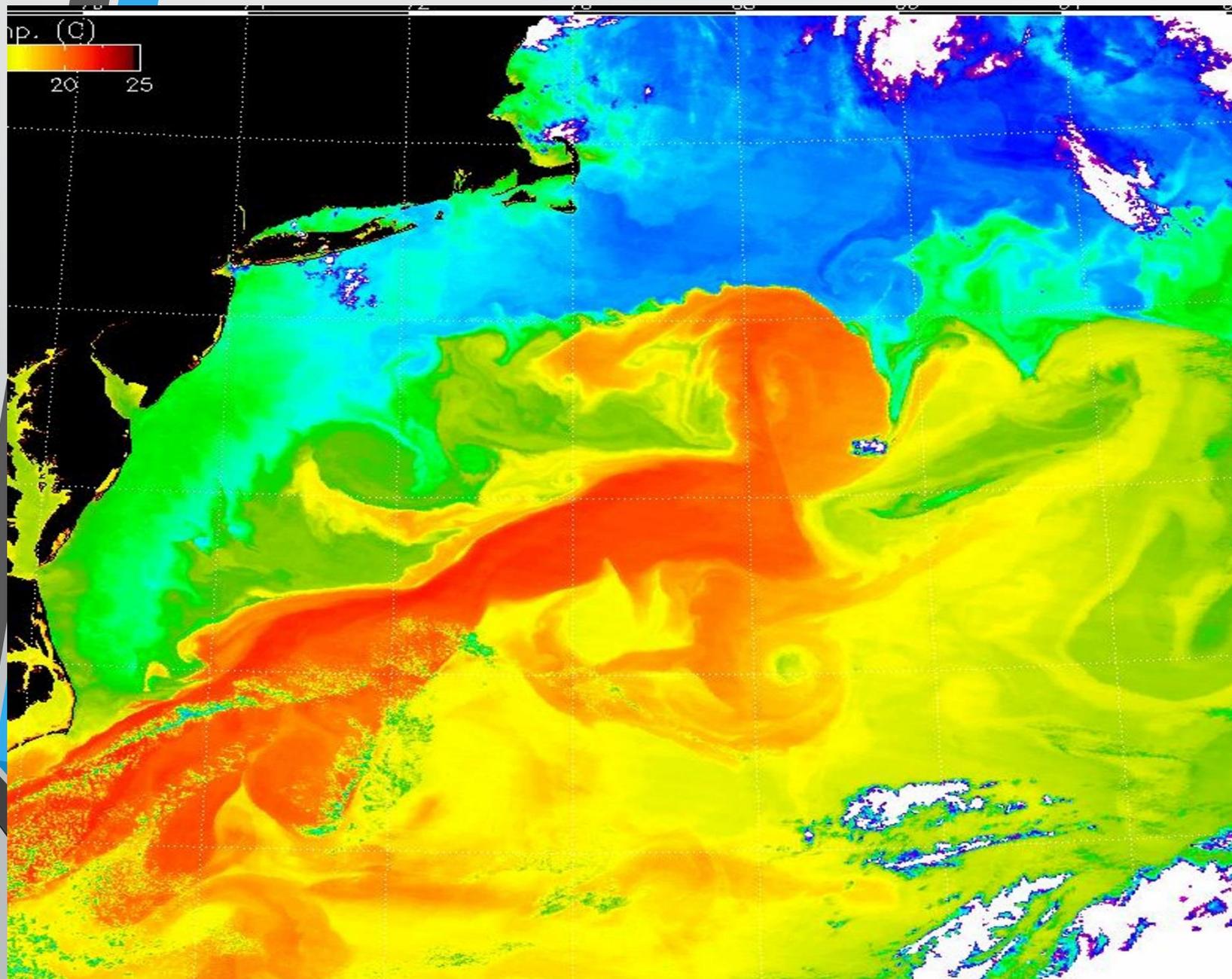
Температура по результатам орбитальных наблюдений



**Определение
температуры
подстилающей
поверхности,
поверхности
моря,
верхнего слоя
облачности**

- Среди параметров физического состояния подстилающей поверхности, таких как **соленость, степень волнения, состояние ледяного покрова для водной поверхности и влажность, степень шероховатости, наличие и состояние растительного покрова для поверхности суши**, в настоящее время наибольший прогресс достигнут при дистанционном измерении с ИСЗ **температуры подстилающей поверхности T_s (IR диапазон)**.
- Определение T_s основано на измерении общего уходящего излучения в окне прозрачности атмосферы **8–12 мкм**, выделении из него вклада конкретной излучающей поверхности, на оценке влияния промежуточной толщи атмосферы (между излучающей поверхностью и ИСЗ) и введении при необходимости поправок, на определении **радиационной температуры** излучающей поверхности с последующим переходом к термодинамической (физической) температуре.
- **Определение температуры поверхности моря.** В инфракрасной области спектра излучения поверхность моря имеет излучательную способность, близкую к единице. Для определения ее радиационной температуры используется измерение длинноволновой радиации на верхней границе атмосферы в области спектра излучения **8–12 мкм**. Эта температура может существенно отличаться от температуры морской воды, измеряемой контактными методами, из-за неточностей, географической привязки измерений, низкого пространственного разрешения спутниковой аппаратуры, поглощения уходящего излучения водяным паром, озоном или аэрозолем, а также потому, что радиационная температура отражает усредненное по площади тепловое состояние тонкой (около 1 мм толщиной) излучающей пленки на поверхности воды, а физическая температура — состояние верхнего перемешанного слоя воды толщиной в десятки и сотни метров.
- **Точность дистанционного определения температуры поверхности моря** по данным спутниковых наблюдений составляет в среднем **1 К**, и в поле этой температуры хорошо прослеживаются поверхностные фронты, зоны апвеллинга, мезомасштабные циркуляции (вихри), течения.

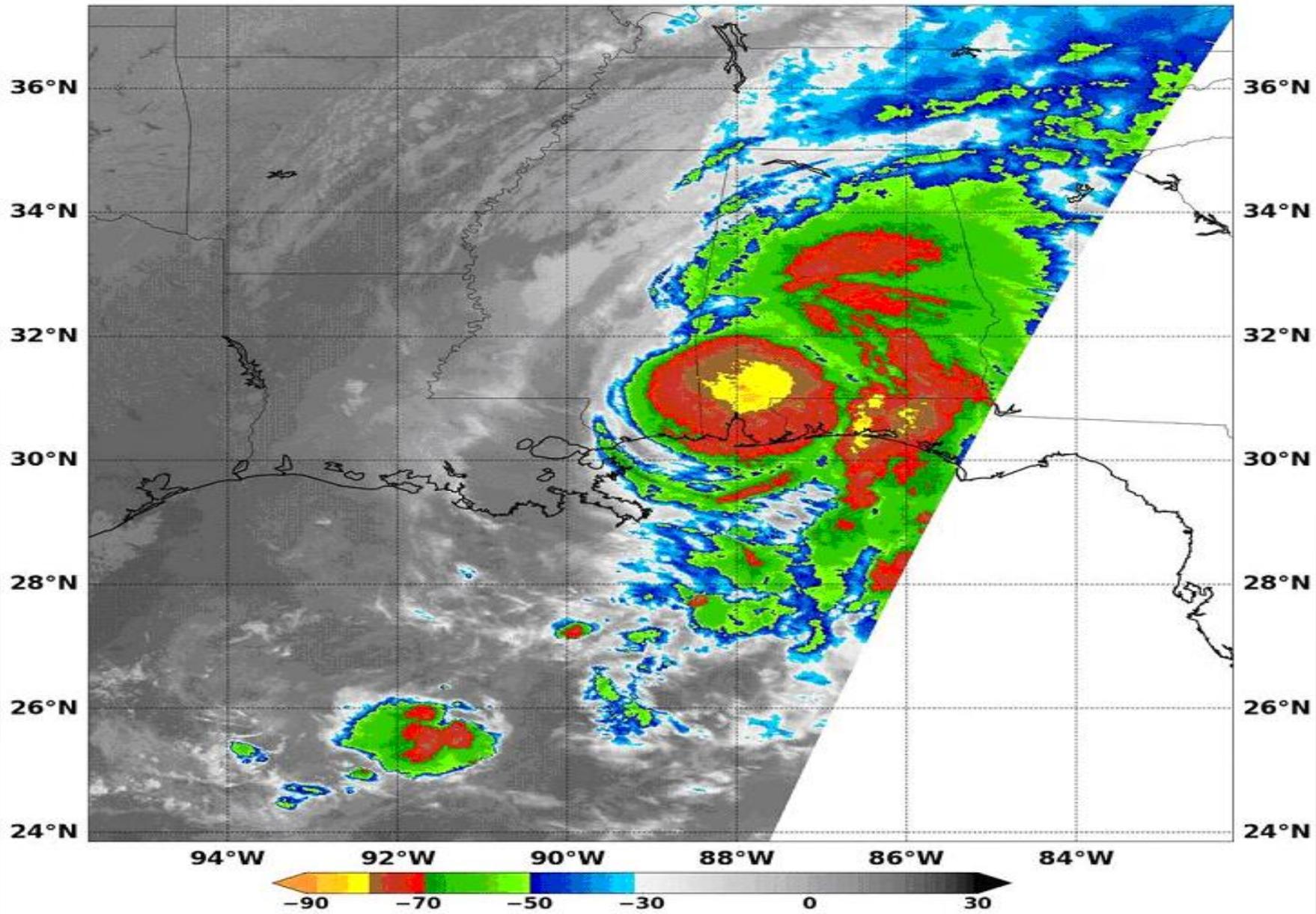
- **Определение температуры поверхности суши.** Большинство типов земной поверхности (снег, растительность, отдельные виды почв) излучают почти как абсолютно черное тело. Однако некоторые из них (еловый лес, сухой кварцевый песок и др.) заметно отличаются излучательной способностью от абсолютно черного тела. Поскольку коэффициенты излучения многих естественных излучающих земных поверхностей известны, то проблему корректного определения их радиационной температуры можно решить при наличии наземной географической привязки и соответствующего банка априорных данных.
- Ошибка в задании коэффициента излучения в 0,01 обуславливает **неточность в определении температуры поверхности суши до 1 К.**
- **Определение температуры верхней границы облачности.** Радиационную температуру излучающей поверхности облаков определяют по измеренному спутником излучению в окне прозрачности атмосферы **8–12 мкм**. Эта температура мало отличается от физической, поскольку верхние слои атмосферы над облачностью достаточно «сухие» и не оказывают существенного влияния на излучение. По известному распределению температуры воздуха с высотой и измеренной (рассчитанной) радиационной температуре можно определить высоту излучающей поверхности облаков. Проще всего задача решается при наличии данных аэрологического зондирования в районе исследования. Если такая информация отсутствует, можно использовать климатические, расчетные или стандартные данные о вертикальном распределении температуры. **Точность определения верхней границы облаков колеблется от нескольких сотен метров до 1–2 км.**
- Существующие методики эффективны для слоистообразной или многоярусной сплошной облачности, а также для облаков вертикального развития. По результатам обработки инфракрасной информации ИСЗ составляются карты высоты верхней границы облаков.



Термическая карта Гольфстрима

Океанские течения, окрашены
В соответствии с температурой
поверхности

AQUA MODIS Infrared 2017/10/08 08:20:00Z NRL-Monterey

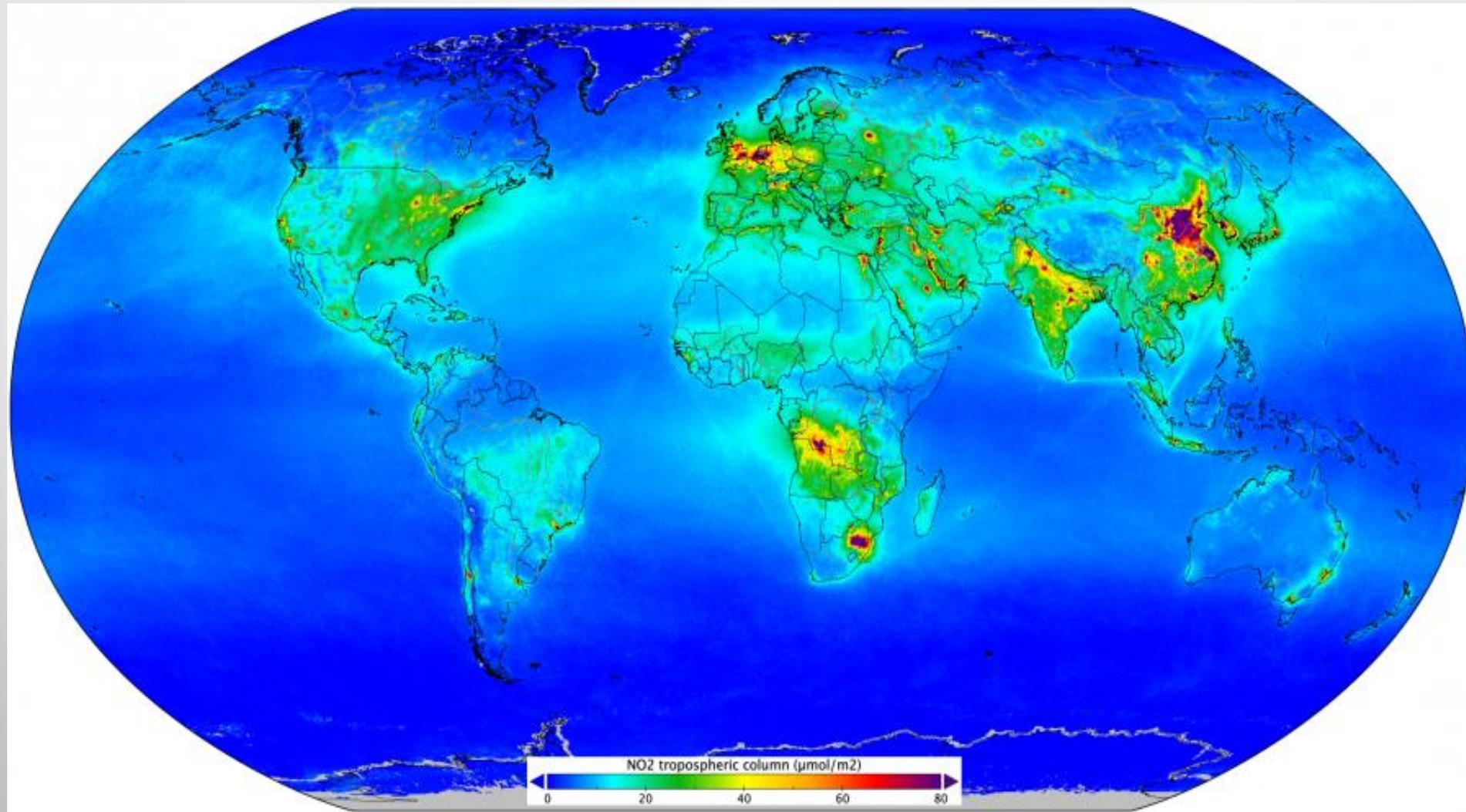


Температура в
центре урагана
«Нэйт»



Вертикальные профили метеовеличин по данным орбитальных наблюдений

**Восстановление вертикальных профилей метеорологических
величин в атмосфере
Оценка содержания малых газовых составляющих атмосферы**



- **Вертикальное распределение температуры и влажности в атмосфере** исследуют совместно на основе спектральных измерений уходящего излучения в области полос диоксида углерода (15 мкм) и водяного пара (6,3 мкм) в следующей последовательности:
 - По излучению в полосе диоксида углерода, концентрация которого в атмосфере в общем-то известна, восстанавливается термическая стратификация $T(p)$ как функция давления на стандартных (изобарических) уровнях;
 - По восстановленному профилю температуры $T(p)$ определяют вертикальное распределение массовой доли водяного пара $q(p)$ по излучению в полосе водяного пара;
 - Уточняют профиль температуры $T(p)$ с учетом перекрытия полос диоксида углерода и водяного пара в области 15 мкм.
- **Термическое зондирование атмосферы.** Определение термической стратификации $T(p)$ по уравнению радиационного переноса осуществляется в предположении равномерности и постоянства распределения поглотителя (диоксида углерода) в атмосфере, независимо от высоты, местоположения района зондирования, времени года. Строгий количественный учет влияния на функцию пропускания, следовательно, и на регистрируемое излучение паров воды, озона и аэрозоля затруднителен.
- Это увеличивает неопределенность в задании некоторых параметров уравнения переноса радиации и способствует росту ошибок выходных данных термического зондирования. Регистрируемое аппаратурой ИСЗ излучение относится к столбу атмосферы, в котором возможны пространственные вариации метеорологических параметров, вследствие чего получаемая информация является характеристикой некоторых осредненных величин состояния атмосферы.
- Наиболее серьезное ограничение возможностей термического зондирования атмосферы из космоса связано с облачностью и ее влиянием на трансформацию инфракрасного излучения в атмосфере. В полосах поглощения диоксида углерода (15 и 4,3 мкм) облачные образования действуют на излучение как абсолютно черное тело, исключая информацию о температуре подоблачного слоя.

Восстановление вертикальных профилей содержания водяного пара в атмосфере. Для определения вертикального распределения массовой доли водяного пара в широком диапазоне высот с удовлетворительной точностью необходимы измерения одновременно в инфракрасной (6,3 и 20–50 мкм) и микроволновой (1,35 см) областях спектра излучения. Измерения в микроволновом диапазоне дают информацию о влагосодержании нижних слоев атмосферы даже при наличии облачности. Инфракрасное излучение позволяет оценить содержание влаги в слое от 700 до 100 гПа.

Оценка содержания озона и малых газовых компонентов атмосферы. Основным методом определения общего содержания и вертикальных профилей озона, оксидов углерода и азота, оксидов серы, метана, аммиака и др. является измерение прозрачности атмосферы на наклонных трассах. Определенную информацию для решения подобных задач несут также измерения теплового уходящего излучения, точность которых зависит от достижимого в настоящее время спектрального разрешения. Сведения о вертикальном распределении озона и его общем содержании в атмосфере чаще всего получают на основе интерпретации измерений уходящего излучения на длине волны 9,6 мкм, например, с помощью интерферометра, обеспечивающего спектральное разрешение 2,4 см. Для надирных условий измерения этот метод имеет малую информативность с точки зрения теплового уходящего излучения. Поэтому используются и другие методы, основанные на измерении прозрачности атмосферы на наклонных трассах или отраженного и рассеянного излучения в ультрафиолетовой области спектра. В них учитываются влияние облачности и поглощения водяного пара на уходящее излучение, коррекция параметров функций пропускания на основе сопоставления измеренных интенсивностей и рассчитанных (по данным прямых измерений профилей температуры, влажности, озона). Предельные точности восстановления составляют для метана, закиси азота, озона и азотной кислоты примерно 4–7 % в области высот 20–50 км и около 15–20 % — в области высот 12–20 км. Средние ошибки восстановления составляют 25–30 % для высот 12–36 км и примерно 50 % — в области высот 40–50 км.



Газовые составляющие атмосферы по данным орбитальных наблюдений

EOS Aura Atmospheric Profile Measurements

OMI also measures UVB flux, cloud top/cover, and column abundances of O₃, NO₂, BrO, aerosol and volcanic SO₂

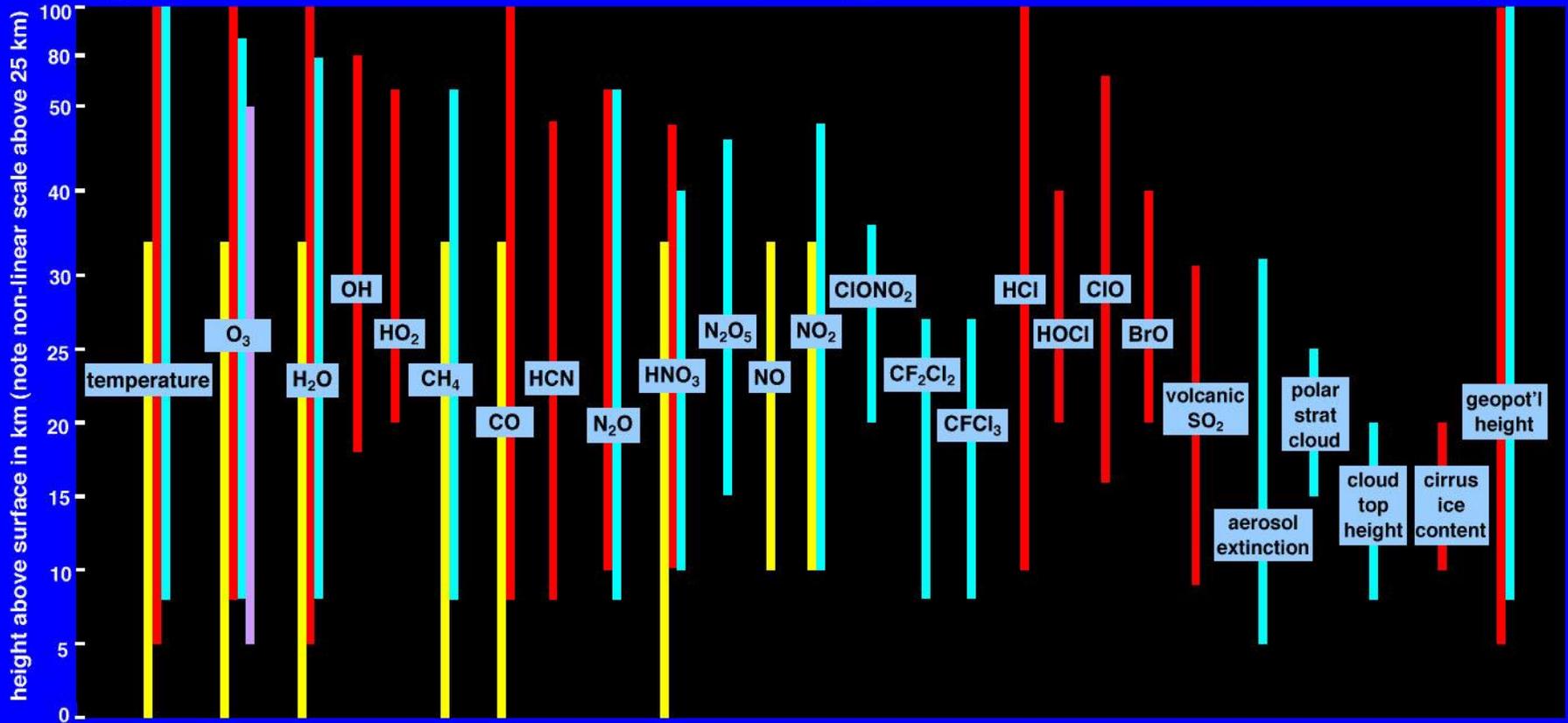
TES also measures several additional 'special products' such as ClONO₂, CF₂Cl₂, CFCI₃, N₂O and volcanic SO₂

HIRDLS: High Resolution Dynamics Limb Sounder

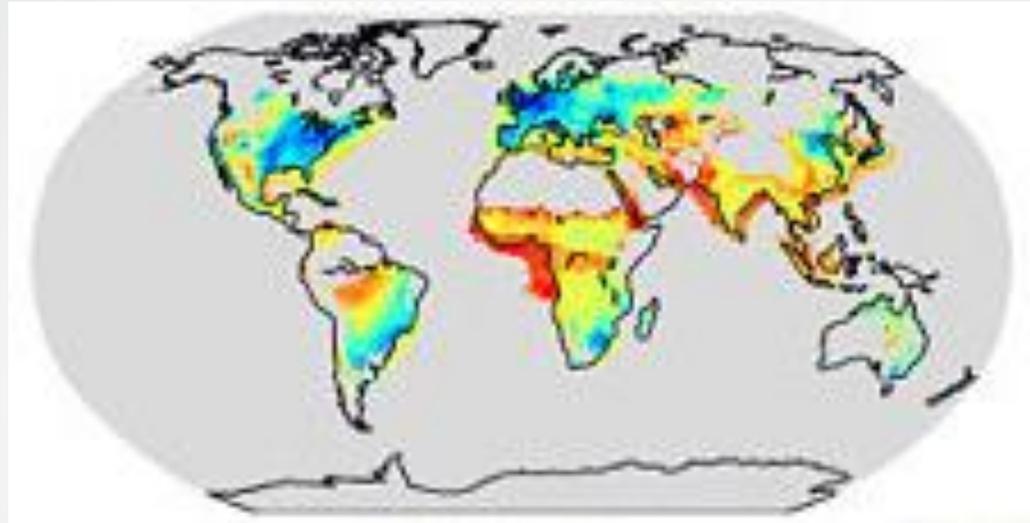
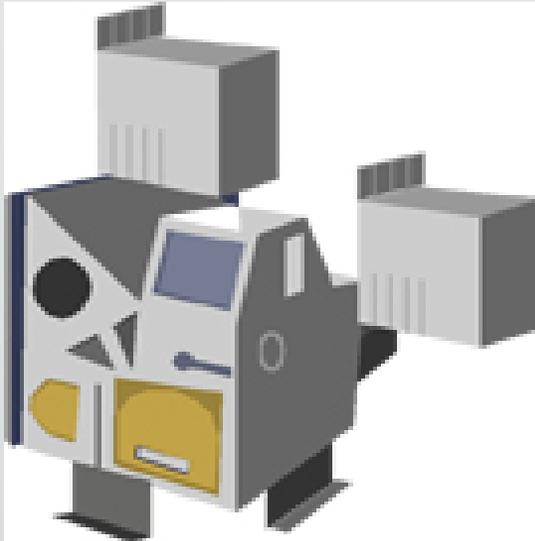
MLS: Microwave Limb Sounder

OMI: Ozone Monitoring Instrument

TES: Tropospheric Emission Spectrometer



OMI (Ozone Monitoring Instrument)

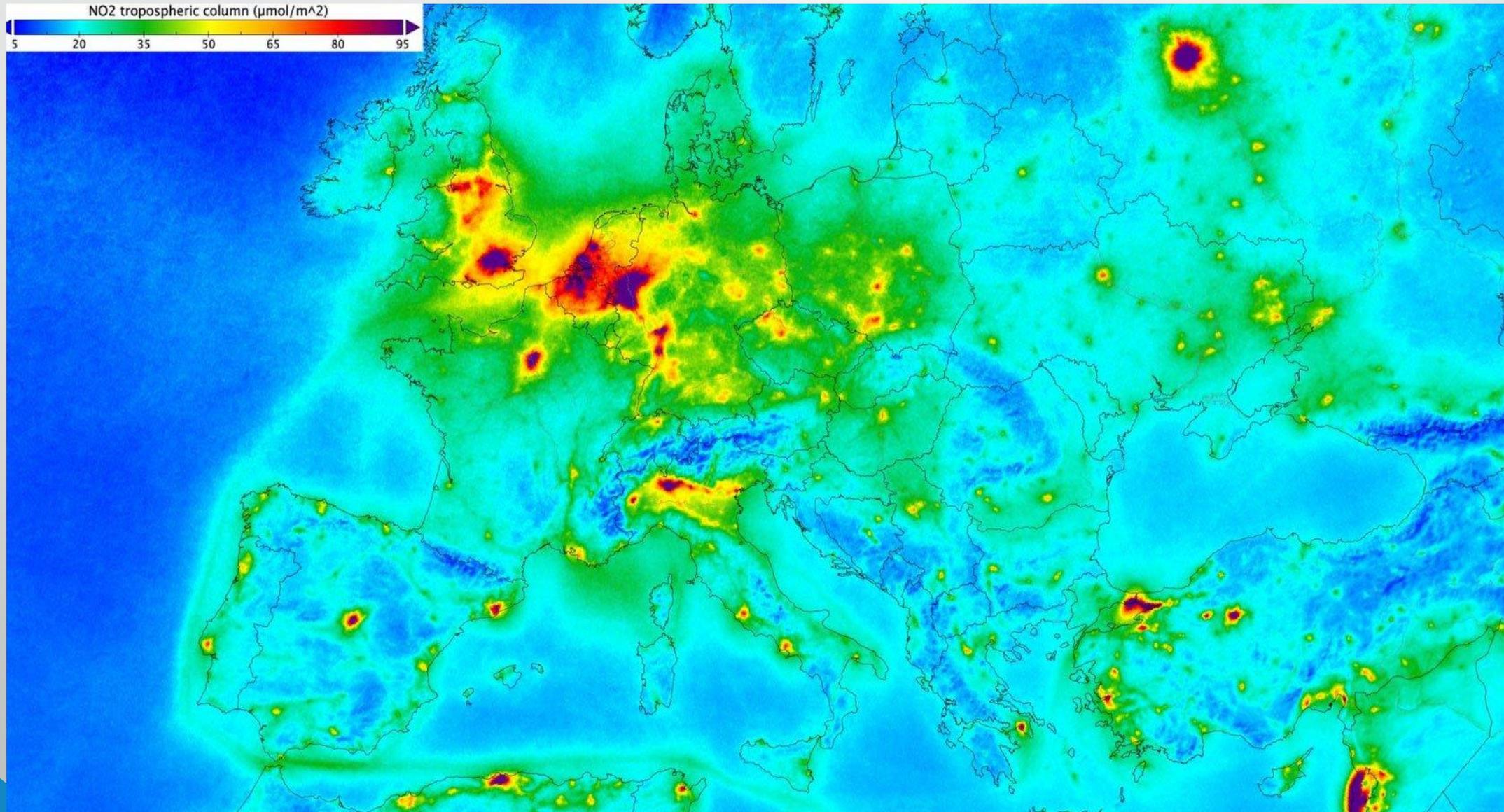


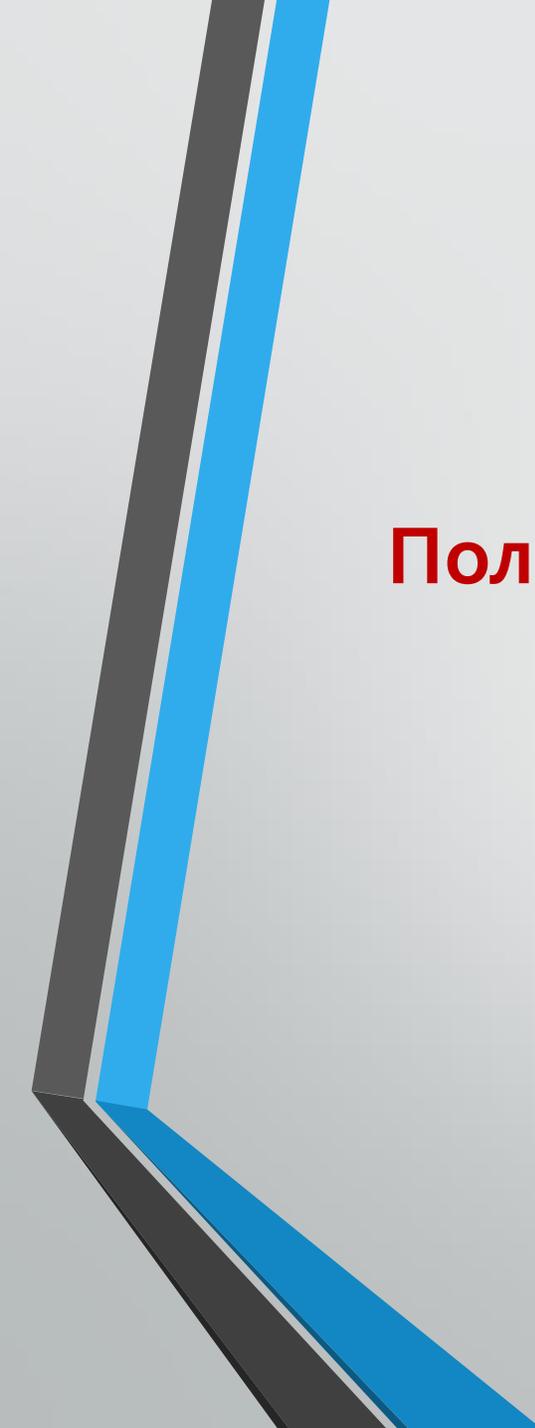
+ OMI is a nadir-viewing wide-field-imaging spectrometer, giving daily global coverage.

+ OMI measures the key air quality components such as O_3 , NO_2 , SO_2 , BrO, OCIO, and aerosol characteristics.

+ OMI provides mapping of pollution products from an urban to super-regional scale.

Карта загрязнения атмосферы диоксидом азота (NO₂)





Поле скоростей ветра по данным орбитальных наблюдений

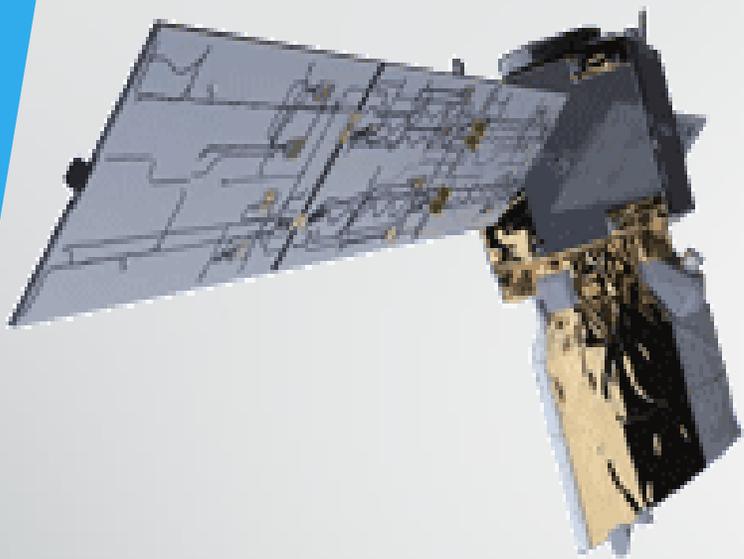
Восстановление полей воздушных течений по данным МСЗ. Подход к решению задачи возможен в трех направлениях, зависящих от:

- корреляционных связей между количеством облаков и вертикальной скоростью, вертикальной слагающей вихря скорости и дивергенцией воздушных течений;
- связи структурных особенностей пространственного распределения облачности с полями воздушных течений;
- возможности оценки ветра в безоблачных районах по данным восстановления вертикальных профилей температуры и влажности в атмосфере.



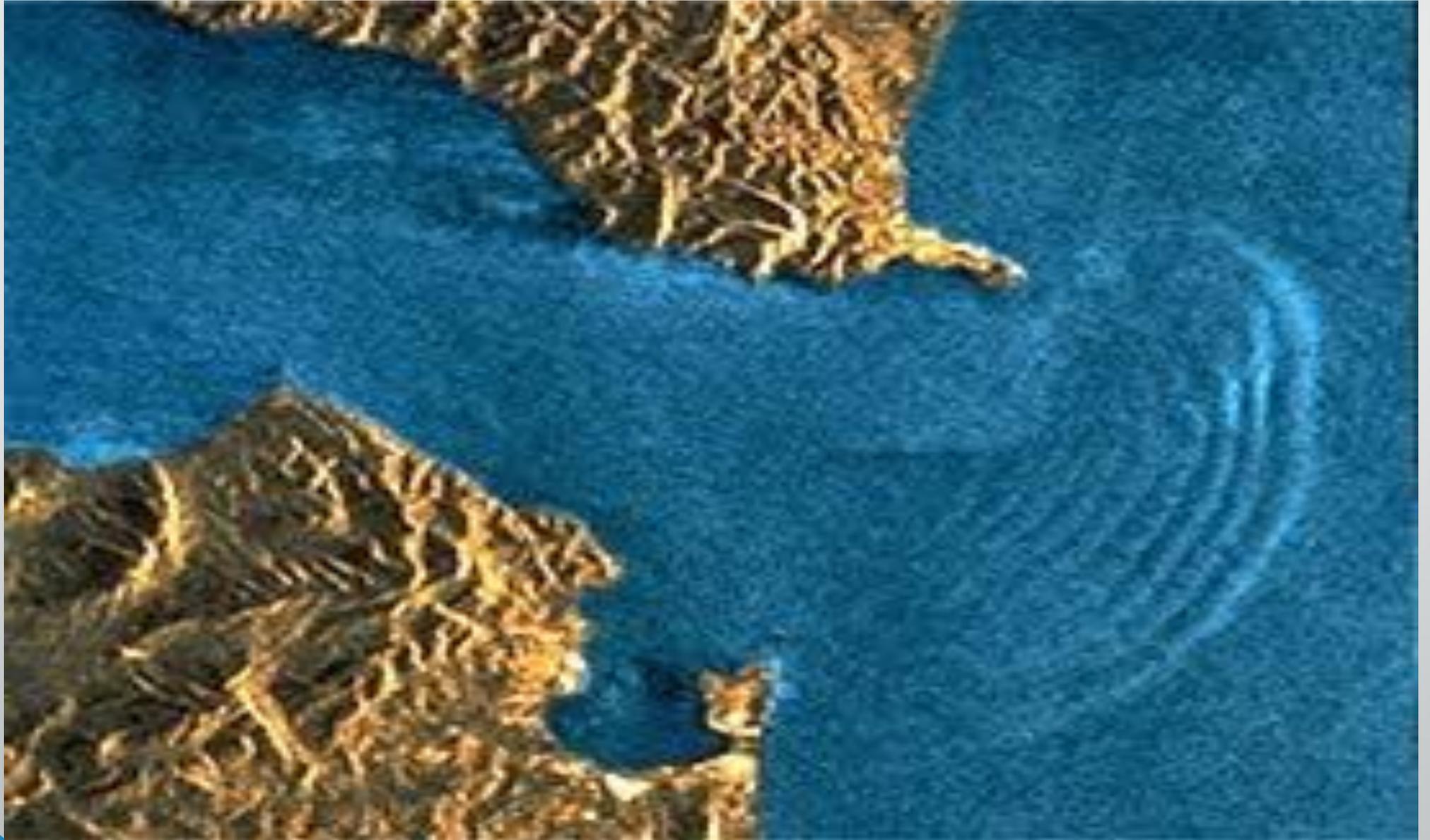
Спутник ADM-Aeolus
для наблюдений за
глобальным полем
ветра

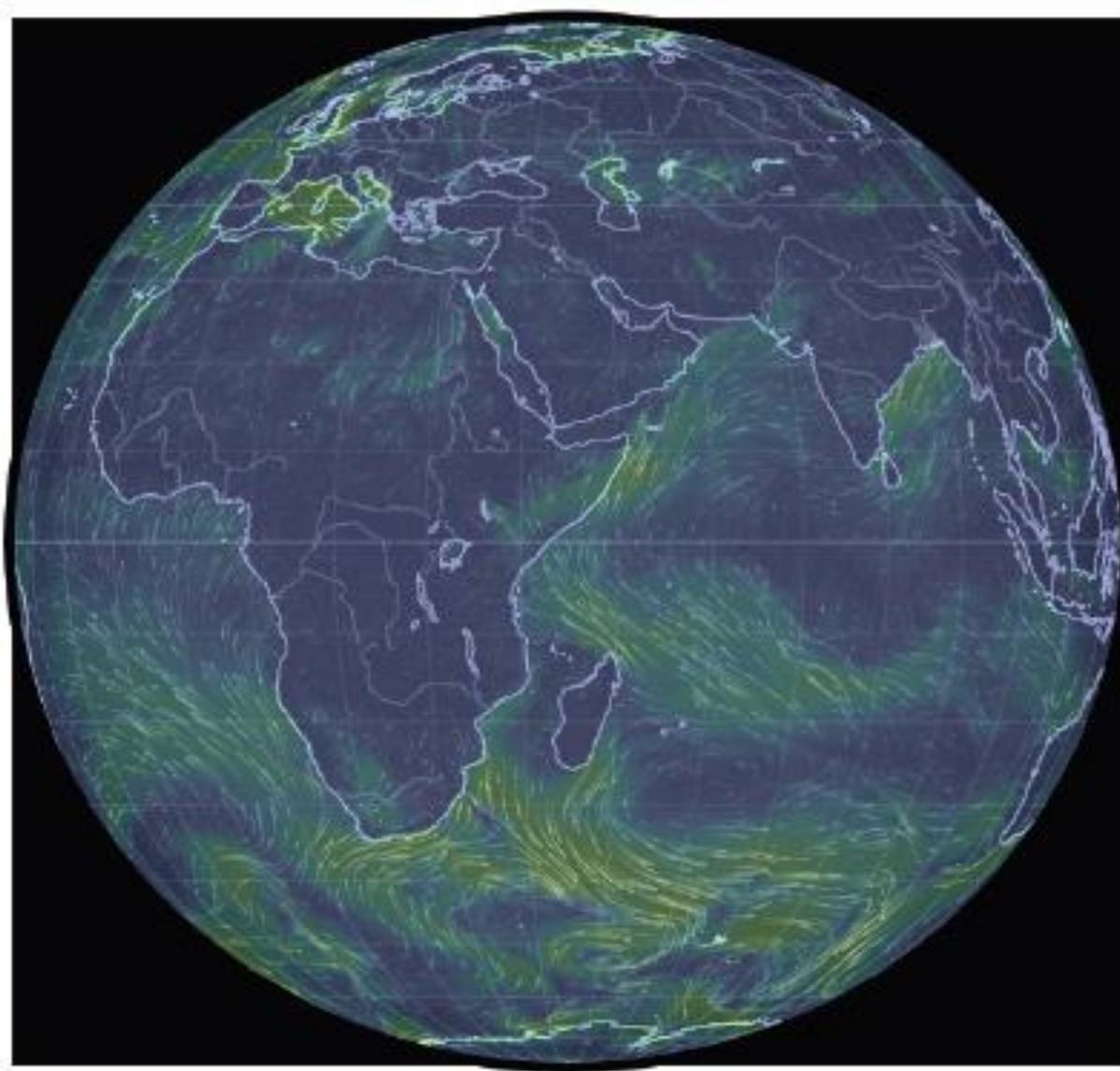
**Это – просто
симпатичная картинка!**



ADM-Aeolus (Atmospheric Dynamics Mission Aeolus — миссия по изучению динамики атмосферы «Эол») — космический спутник дистанционного зондирования Земли, построенный Airbus Defence and Space. **ADM-Aeolus** должен стать первым спутником, способным проводить глобальные наблюдения за ветрами от поверхности Земли до 30 км (стратосферы), что позволит получить информацию важную для предсказания погоды. Предполагается, что в дальнейшем это позволит ученым строить сложные модели. Аппарат будет функционировать на низкой ССО. Ветер будет измеряться в направлении 90 градусов от траектории движения аппарата при прохождении через затемненные участки Земли. Спутник будет производить измерения скорости ветра с использованием 3.4 кватного лазерного сканера, который будет посылать в атмосферу пучки ультрафиолетовых лучей для сбора данных о ветрах на Земле. Контролировать деятельность спутника будут специалисты ЕКА из европейского центра управления полетами в Дармштадте - в ближайшие месяцы они будут заниматься отладкой аппарата перед началом его полноценной работы. Космический аппарат назван в честь древнегреческого бога Эола, повелителя ветров.

Synthetic aperture radar (SAR)





**Глобальная карта
поля скорости ветра
(суперкомпьютерный
расчет, анимация)**



Характеристики облачности по данным орбитальных наблюдений

EUMETSAT: MSG SEVIRI CHANNELS

Basic + Airmass + Hi Res Vis Missions

Window	Band (μm)	Absorption	Band (μm)
VIS 0.6	0.56 - 0.71	H ₂ O 6.2	5.35 - 7.15
VIS 0.8	0.74 - 0.88	H ₂ O 7.3	6.85 - 7.85
IR 1.6	1.50 - 1.78	O ₃ 9.7	9.38 - 9.94
IR 3.9	3.48 - 4.36	CO ₂ 13.4	12.40 - 14.40
IR 8.7	8.30 - 9.10		
IR 10.8	9.80 - 11.80	High Res VIS	1km Sampling
IR 12.0	11.00 - 13.00	HRV	0.4 - 1.1

VISo.6
облаках
VISo.8
облаках,
NIR1.6, IR3.9
WV6.2, WV7.3
IR8.7, IR10.8, IR12.0

Оптическая толщина, содержание льда и воды в

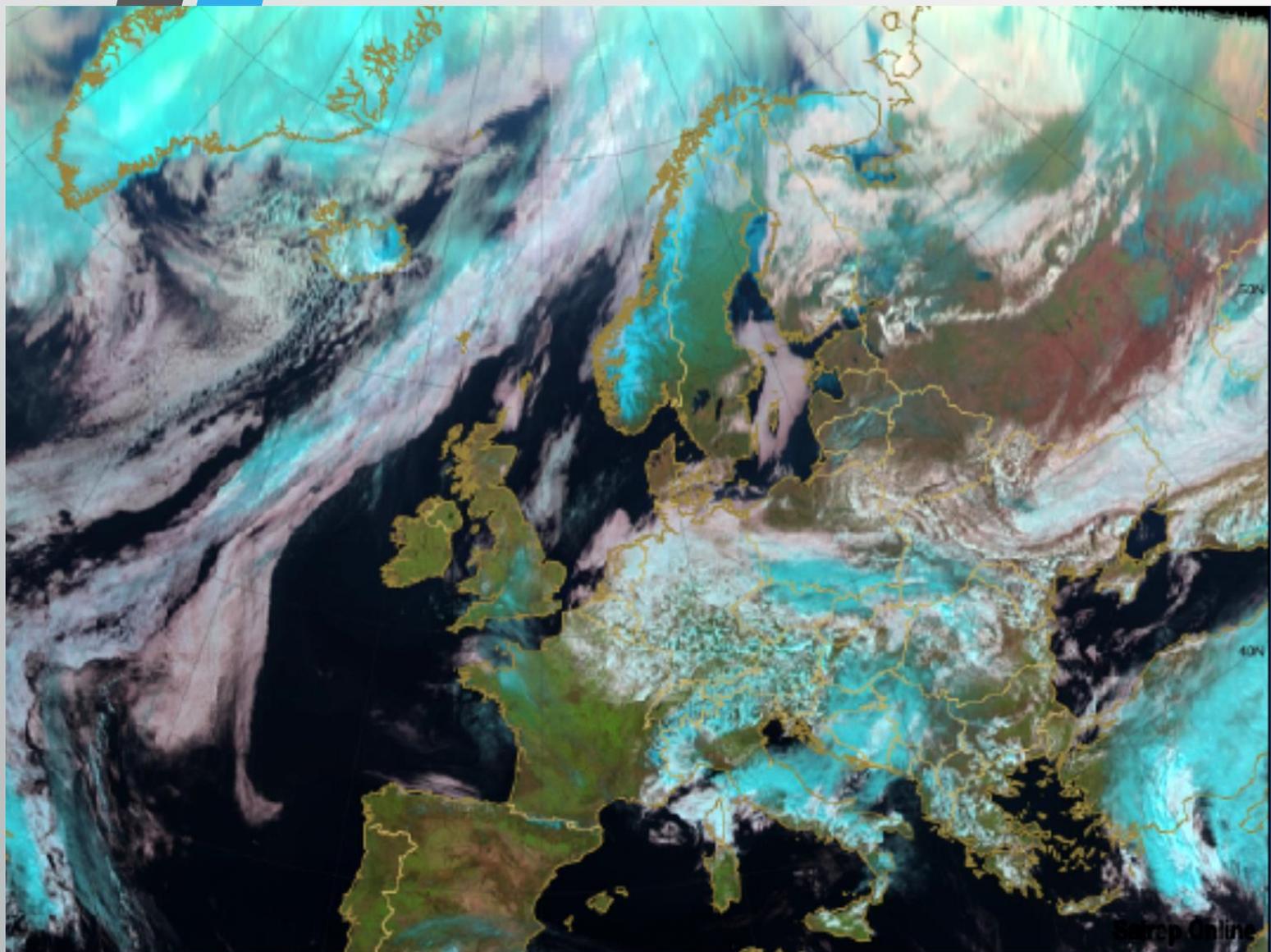
Оптическая толщина, содержание льда воды в
«зелёность» растительности

Размеры частиц и фаза воды

Влажность в средней и верхней тропосфере

Температура верхней границы облачности

EUMETSAT: Natural Color RGB: БИК1.6 + TBo.8 + TBo.6



Водяные облака (туман или перистые)

Облака смешанной фазы или облака с покрывающим их слоем перистых облаков

Плотные ледяные облака с большими кристаллами льда в верхних слоях

Снег и лёд на поверхности

Поверхность с растительностью в стадии фотосинтеза

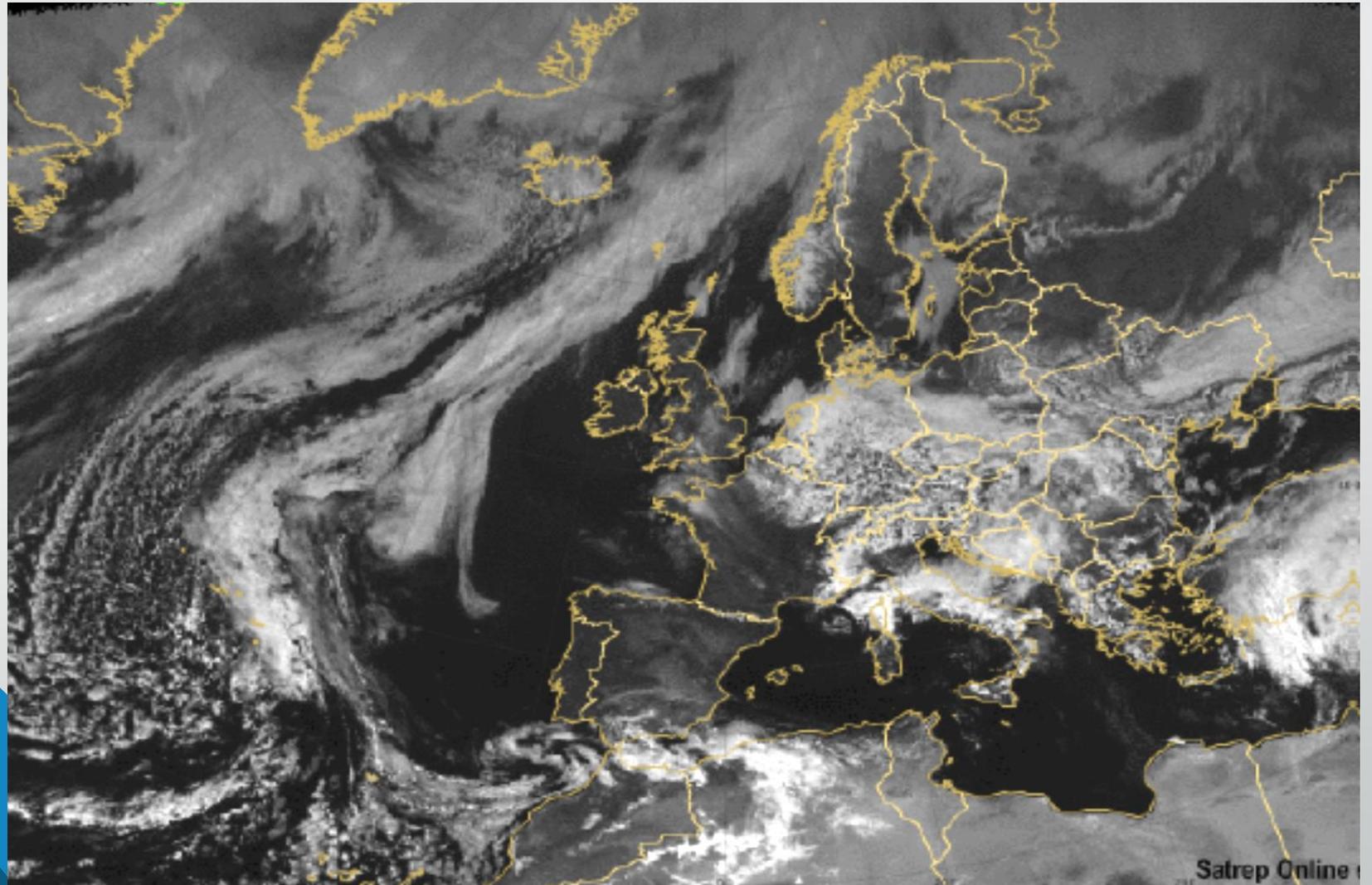
Песчаные пустыни, голые почвы или засохшая растительность

Морской лёд без снега

Водная поверхность морей и озёр

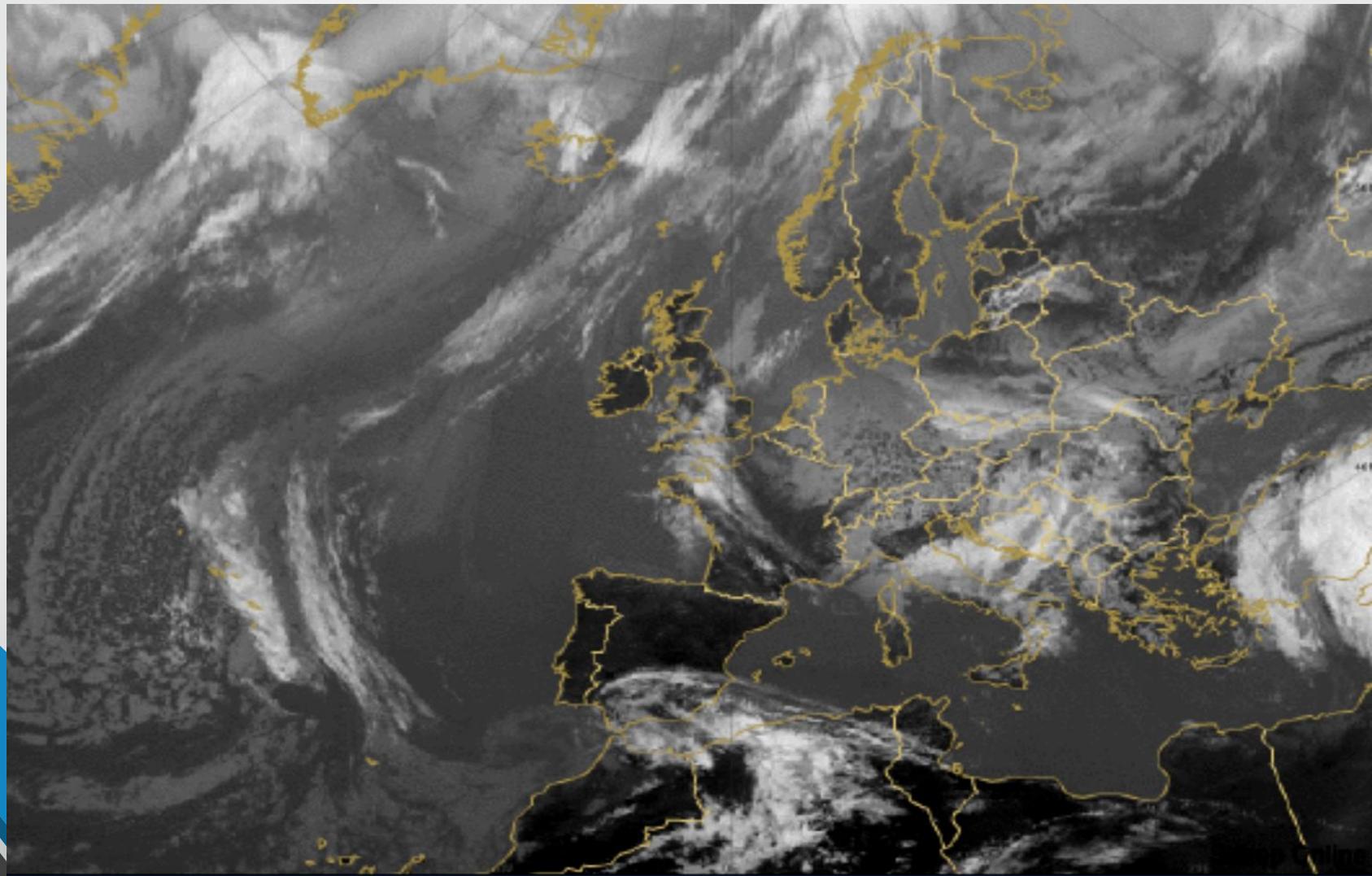
EUMETSAT: Базовые каналы MSG SEVIRI

Видимый диапазон: ТВ 0.6 (VIS 0.6)



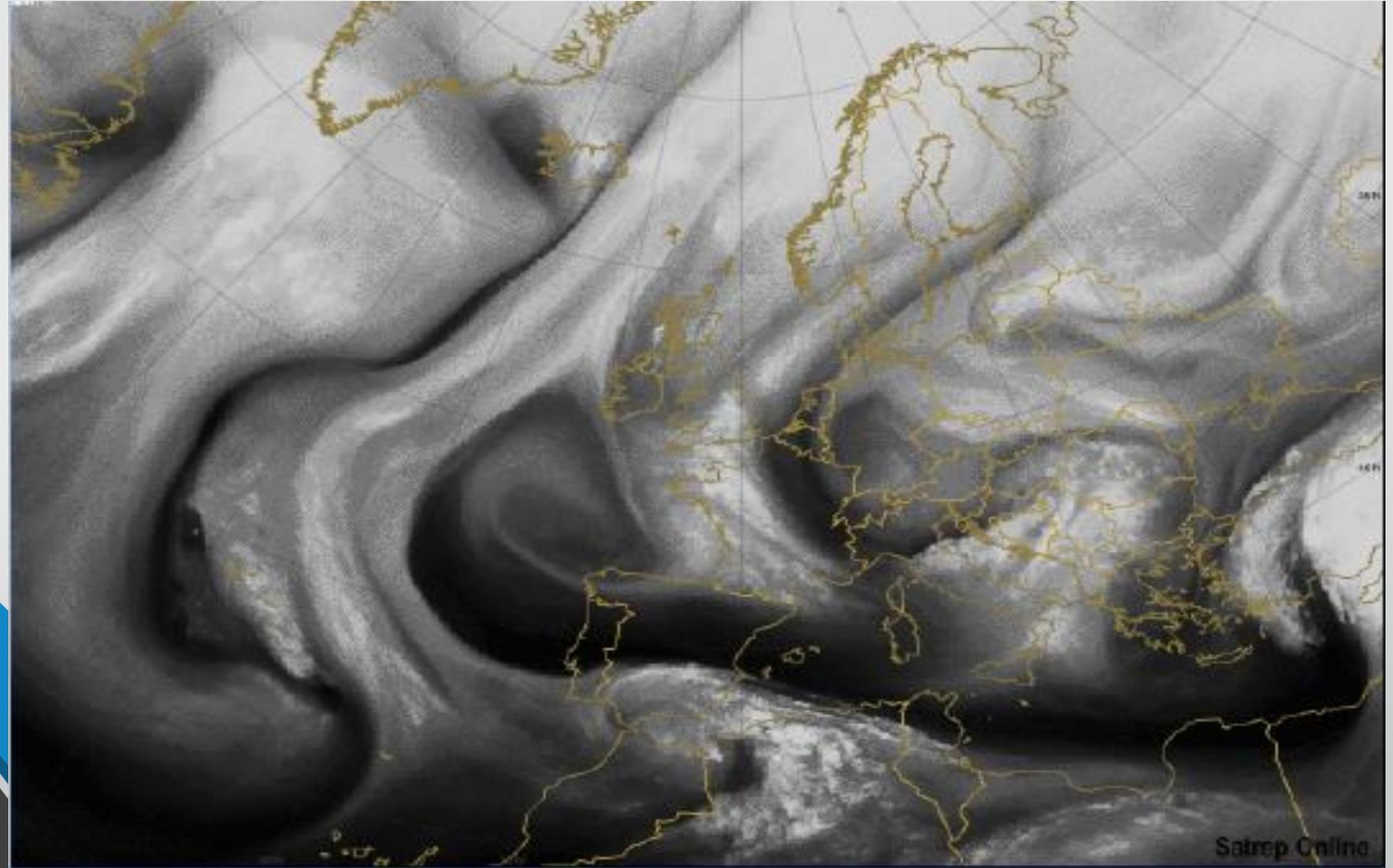
EUMETSAT: Базовые каналы MSG SEVIRI

Инфракрасный диапазон: ИК 10.8 (IR 10.8)

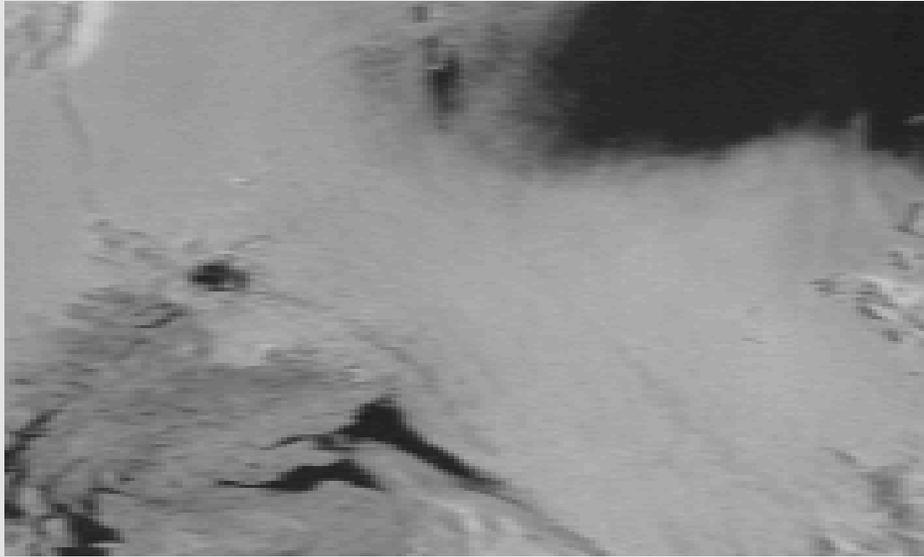


EUMETSAT: Базовые каналы MSG SEVIRI

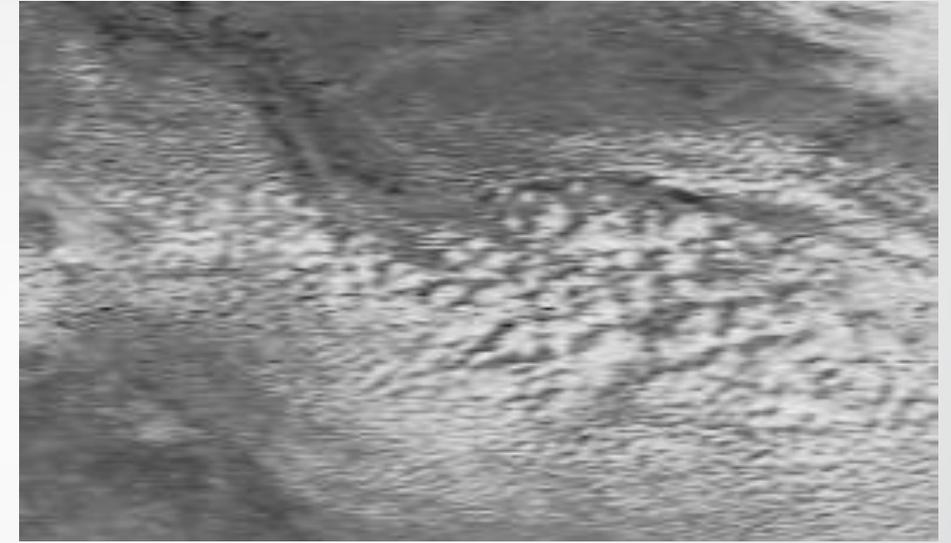
Водяной пар: ВП 6.2 (WW 6.2)



Признаки для метеорологического дешифрирования снимков: Виды текстуры



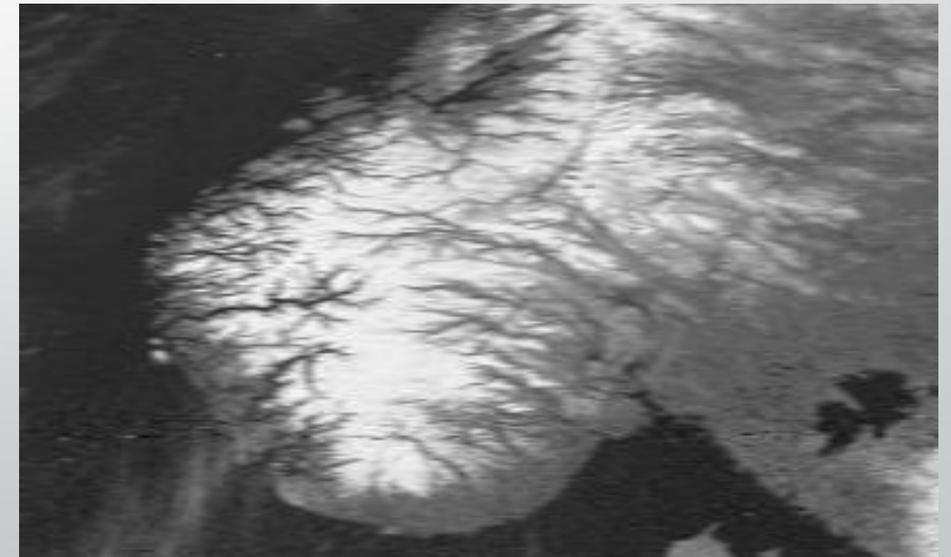
Матовая текстура



Зернистая текстура

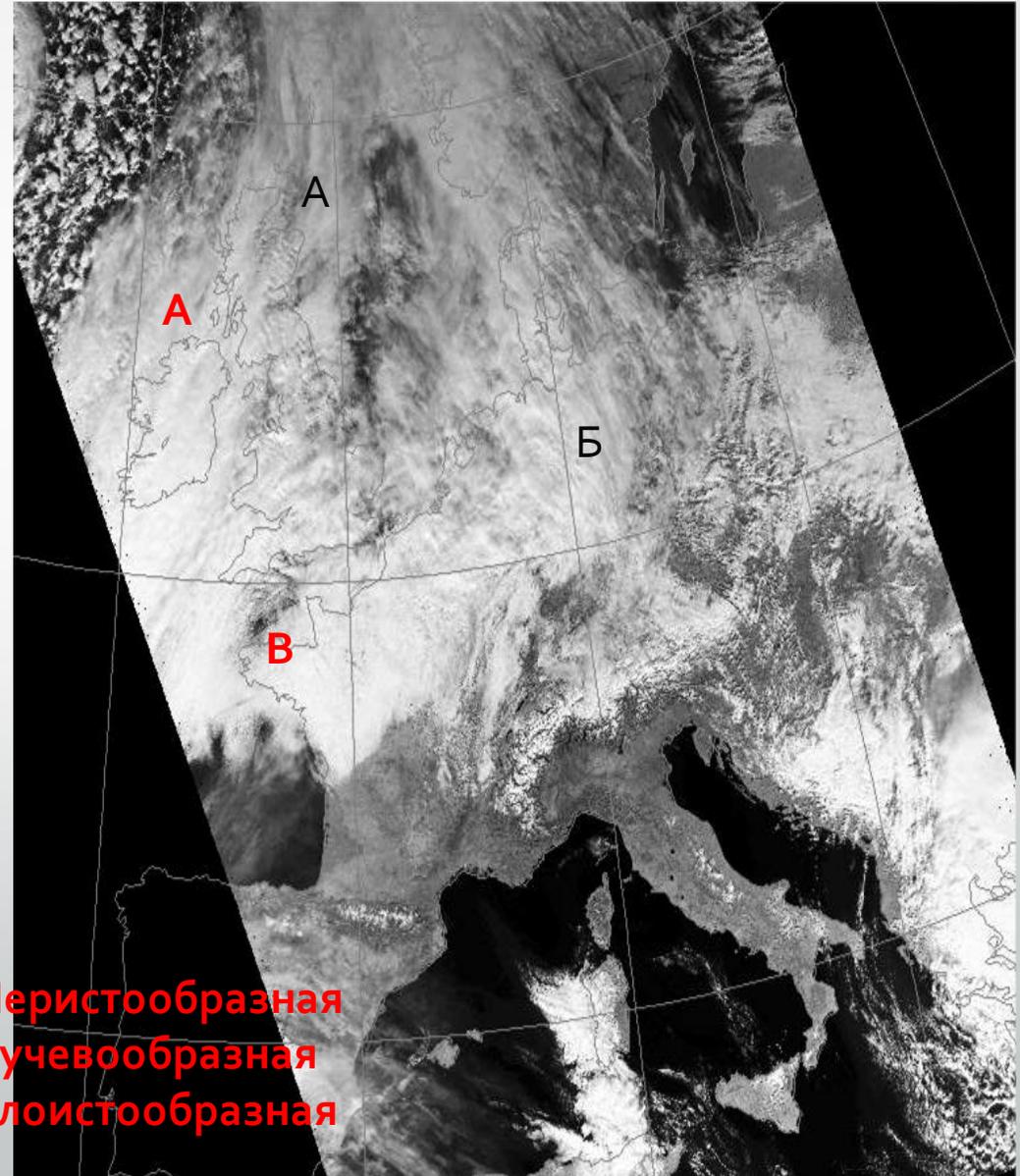
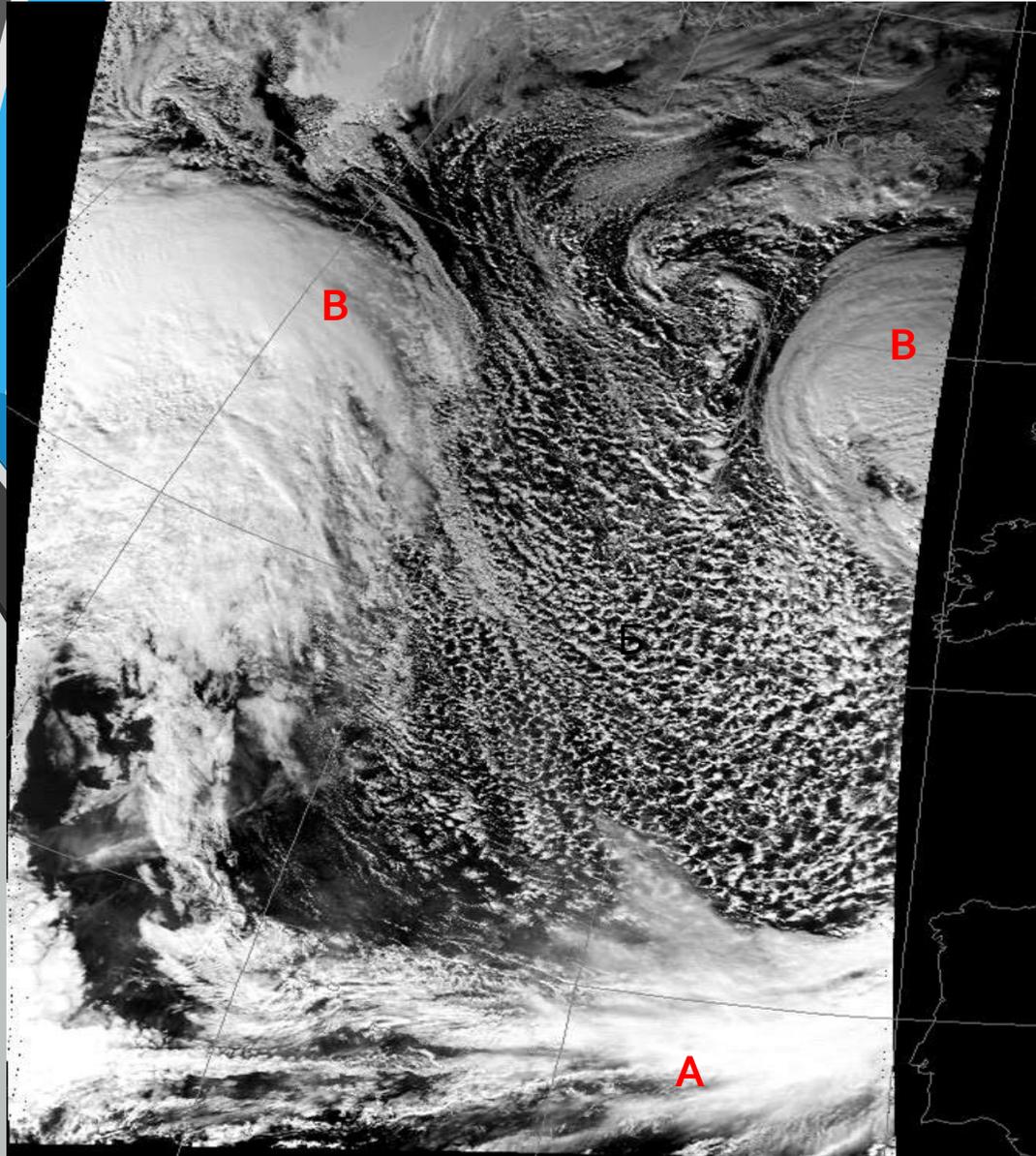


Волокнистая текстура



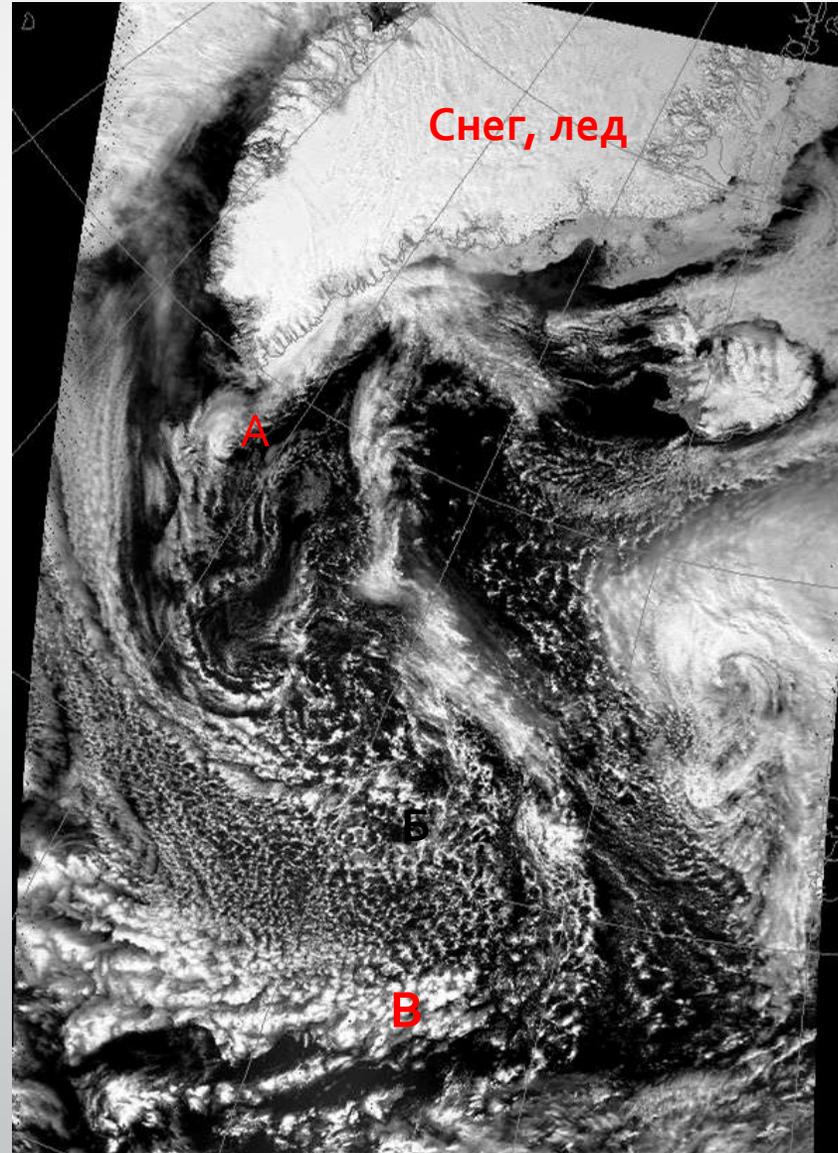
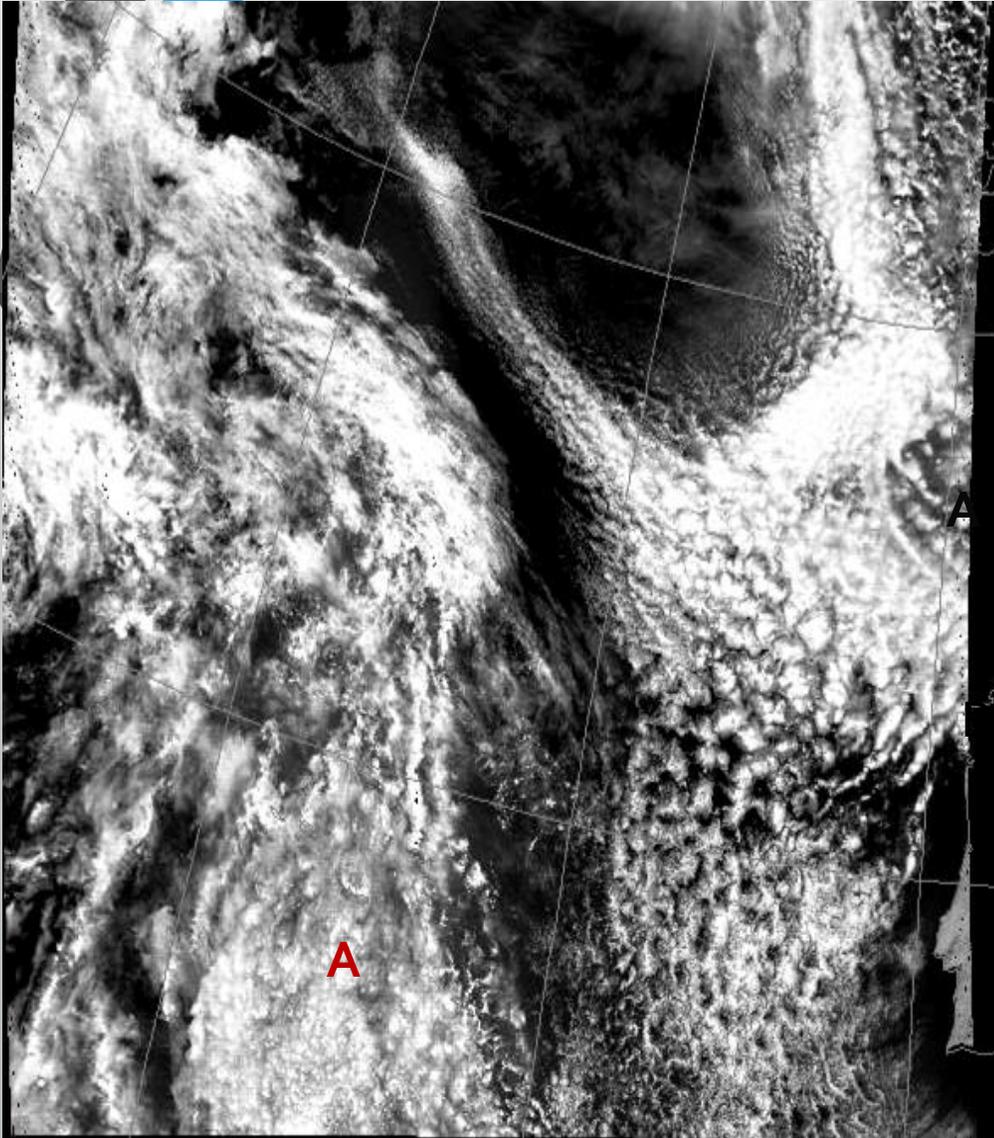
Дендритовая текстура

Распознавание типа облачности



А - Перистообразная
Б - Кучевообразная
В - Слоистообразная

Распознавание типа облачности

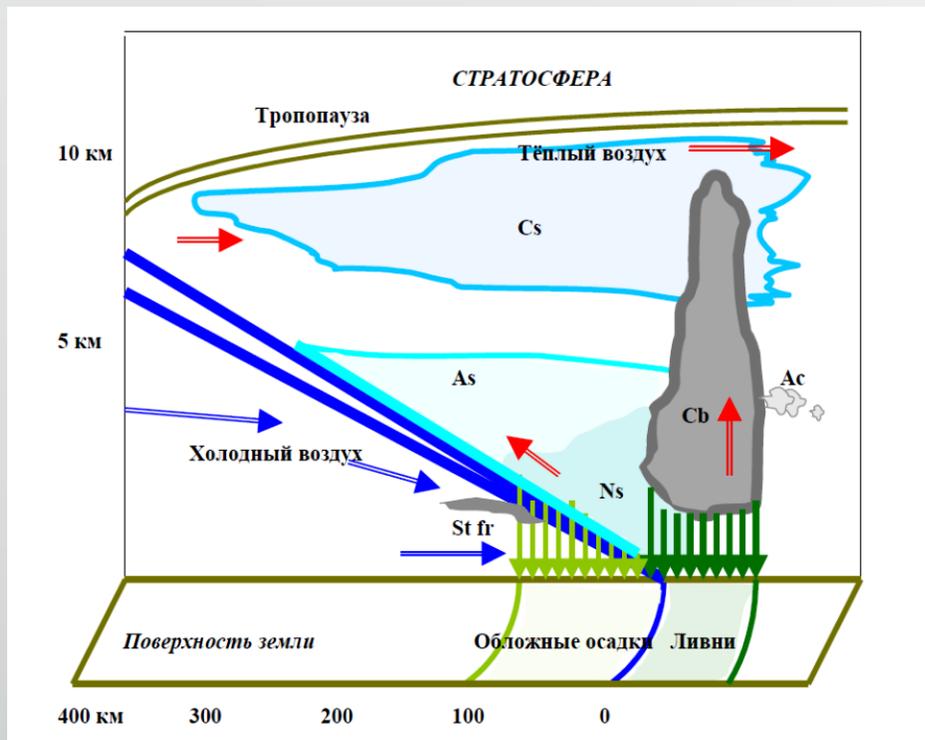


- А – Слоисто-кучевообразная
- Б – Кучевообразная
- В – Кучеводождевая



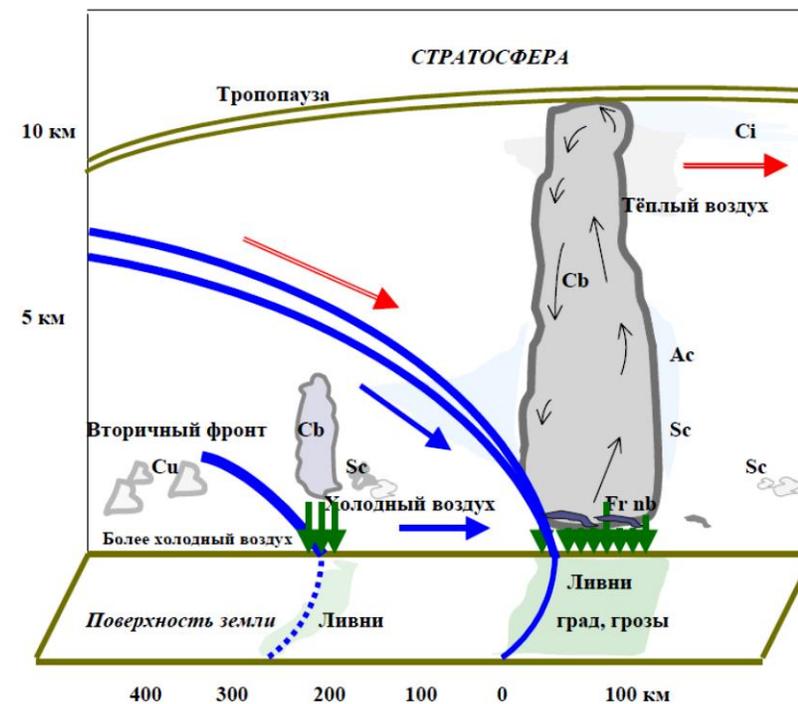
Облачность атмосферных фронтов

Типы холодных фронтов

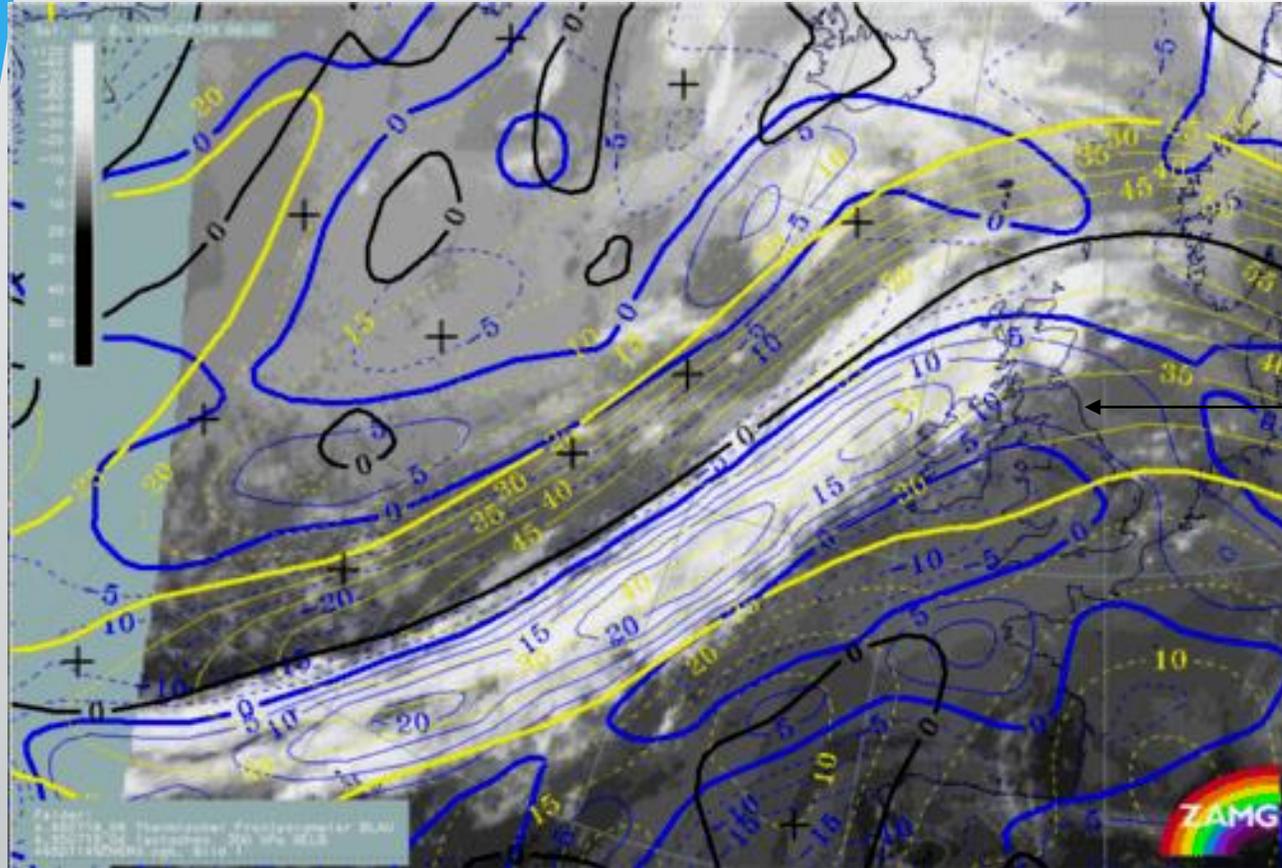


← Холодный фронт 1 рода
(ана-фронт)

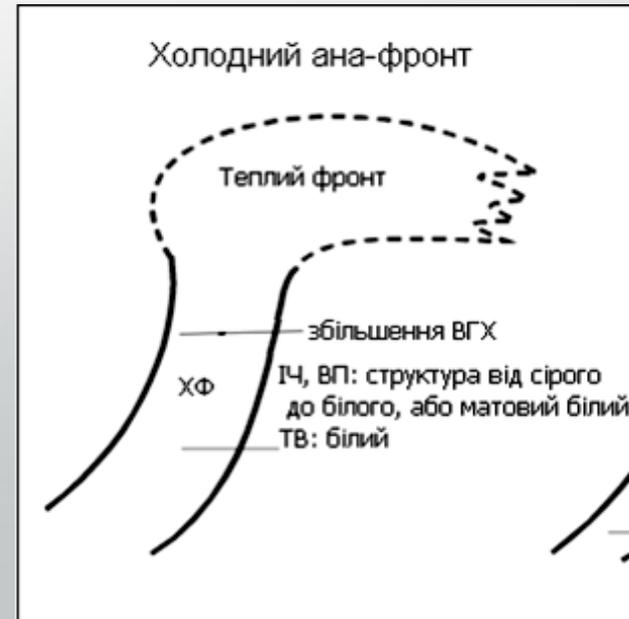
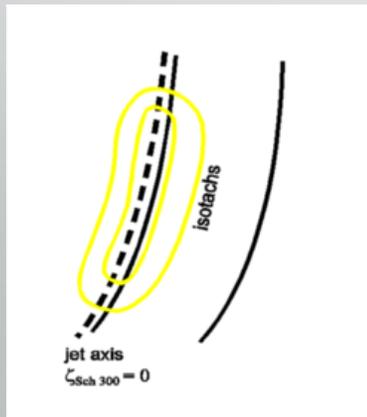
Холодный фронт 2 рода
(ката-фронт) →



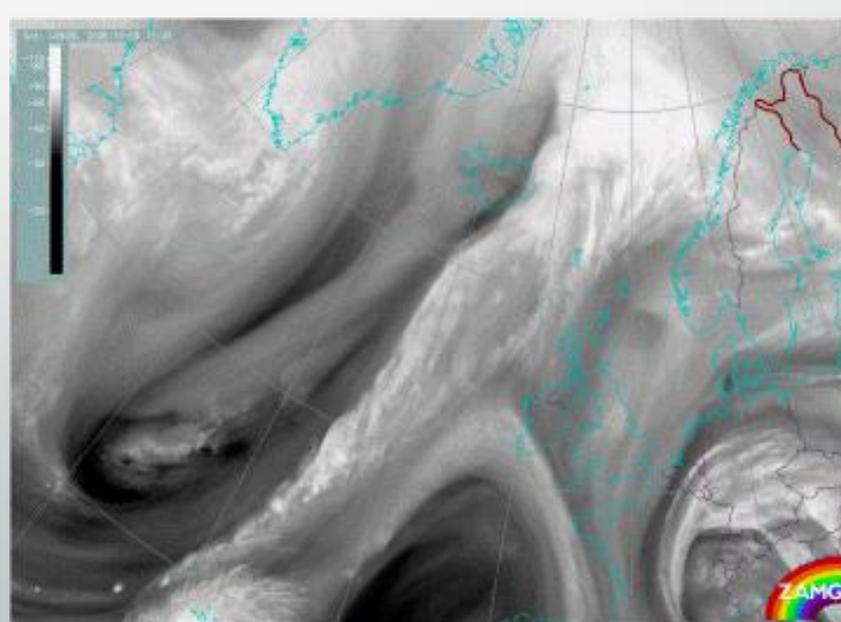
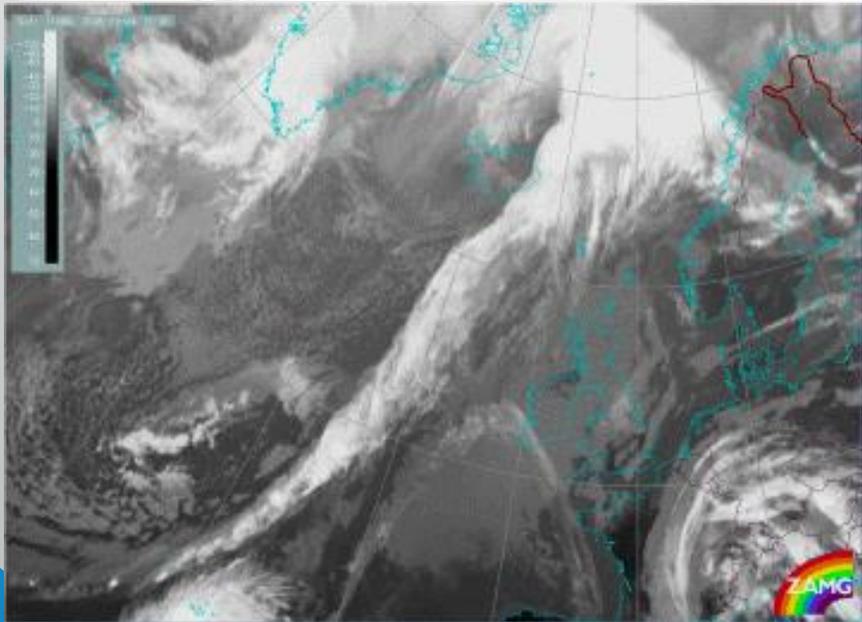
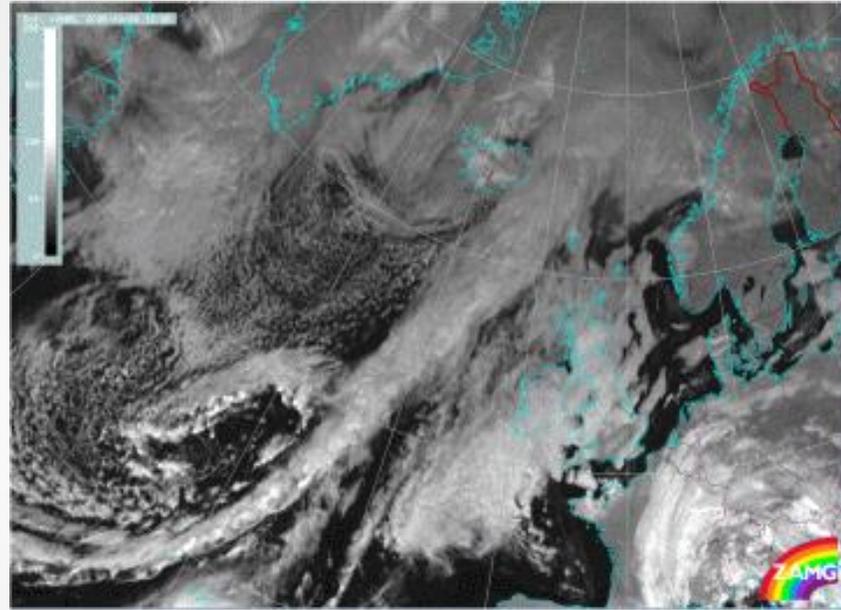
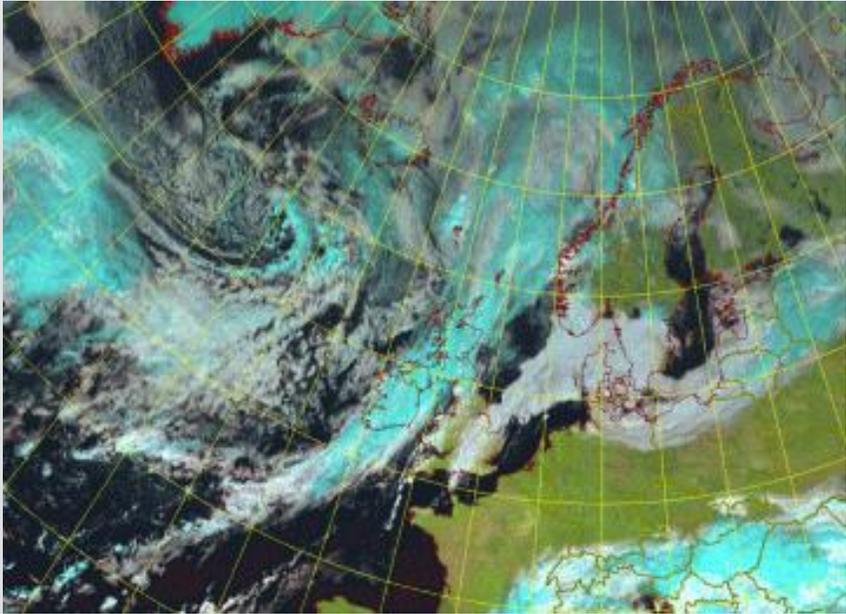
Облачность холодного ана-фронта



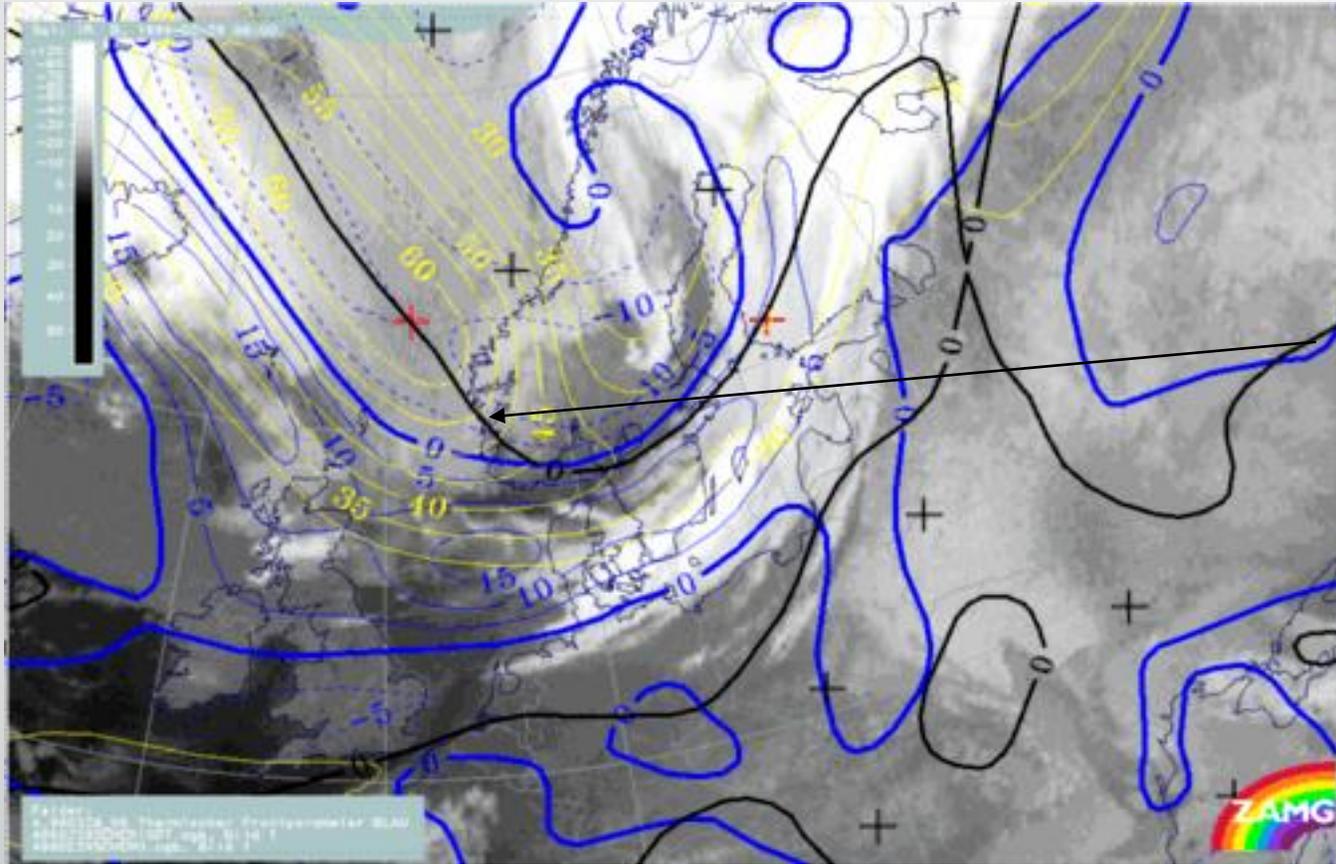
Облачность лежит в зоне максимальных значений ТФП, параллельно оси СТ



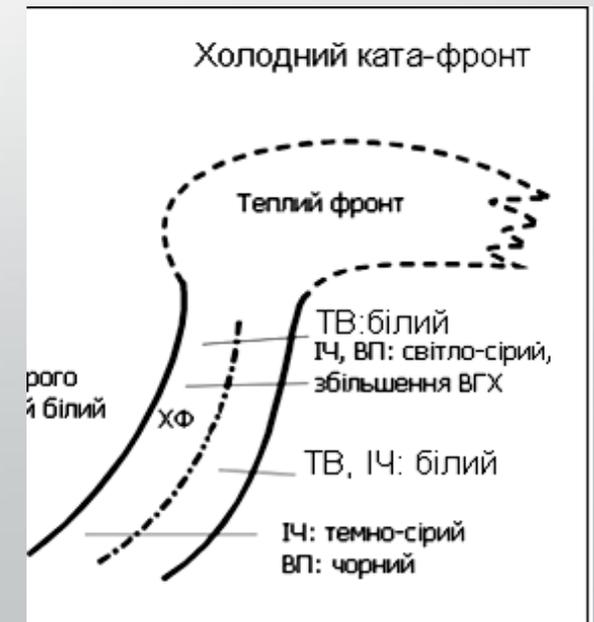
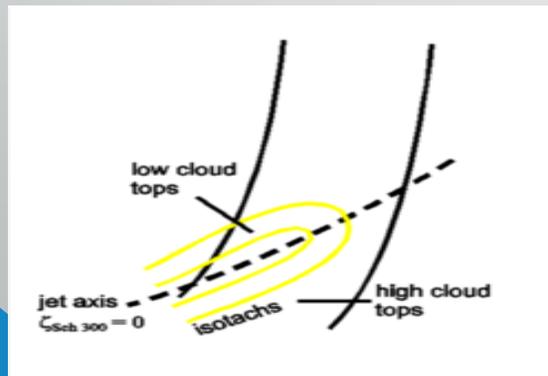
Облачность холодного ана-фронта



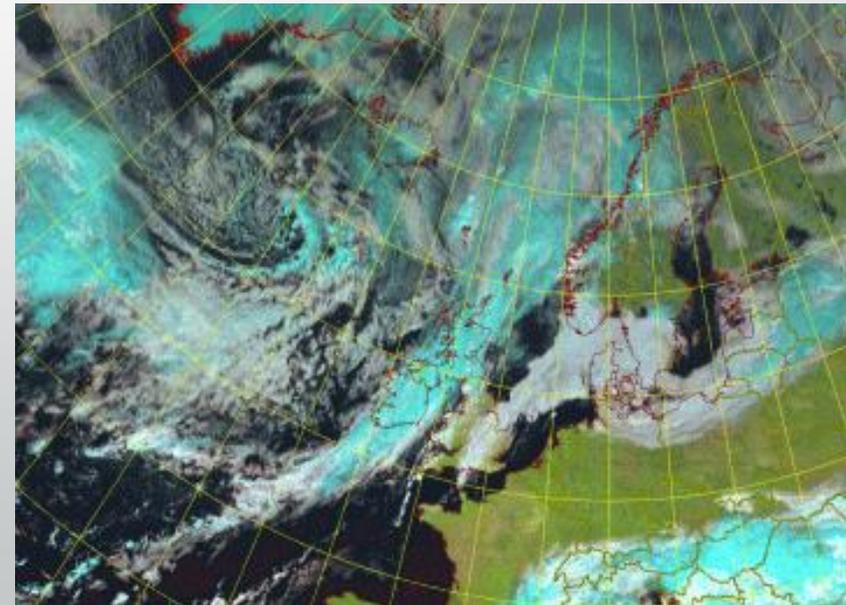
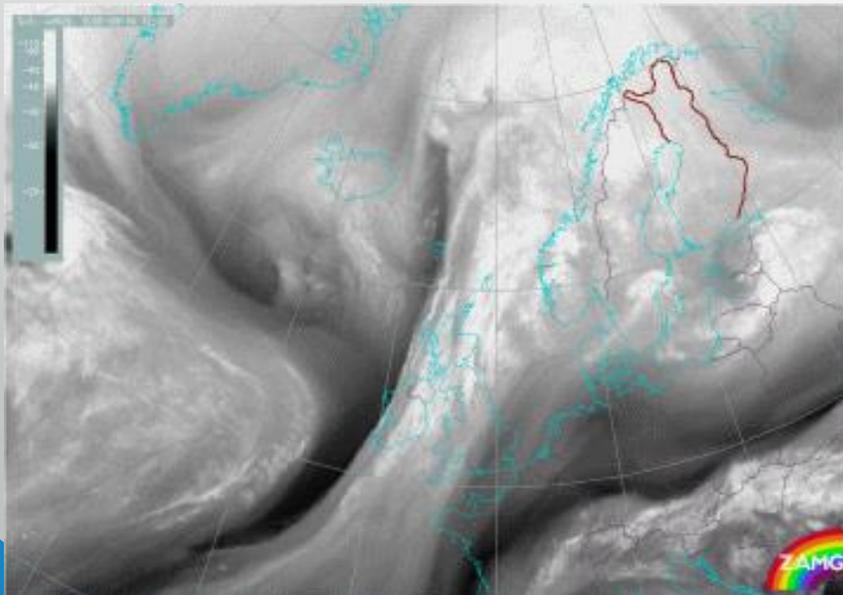
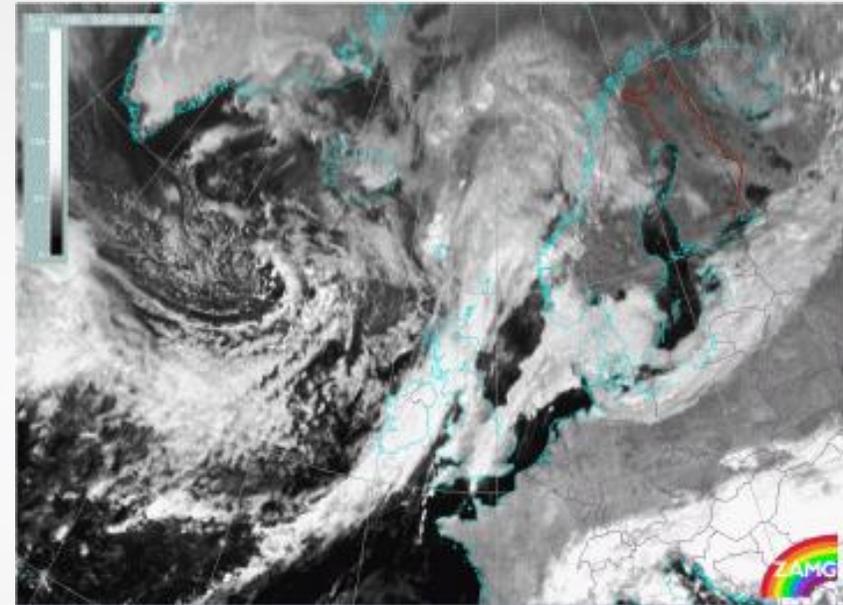
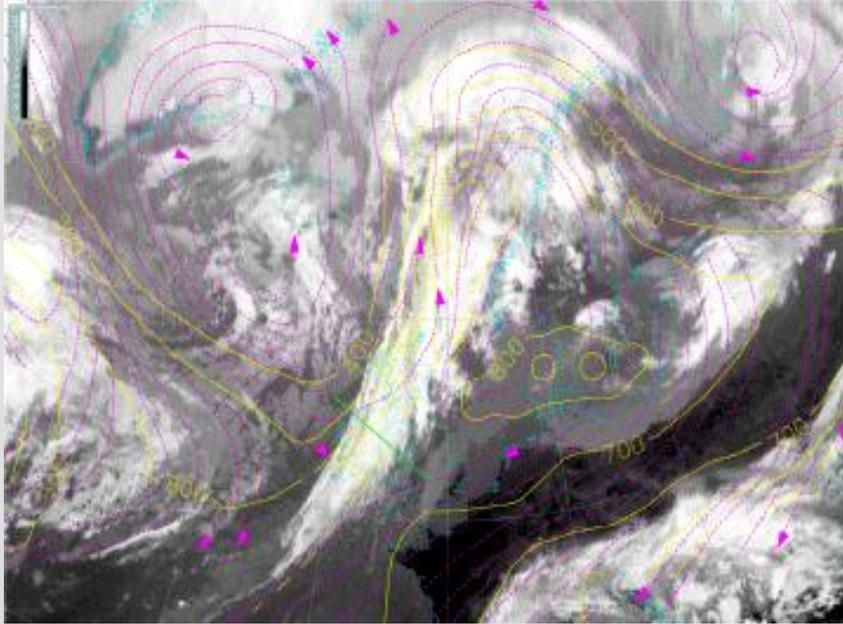
Облачность холодного ката-фронта



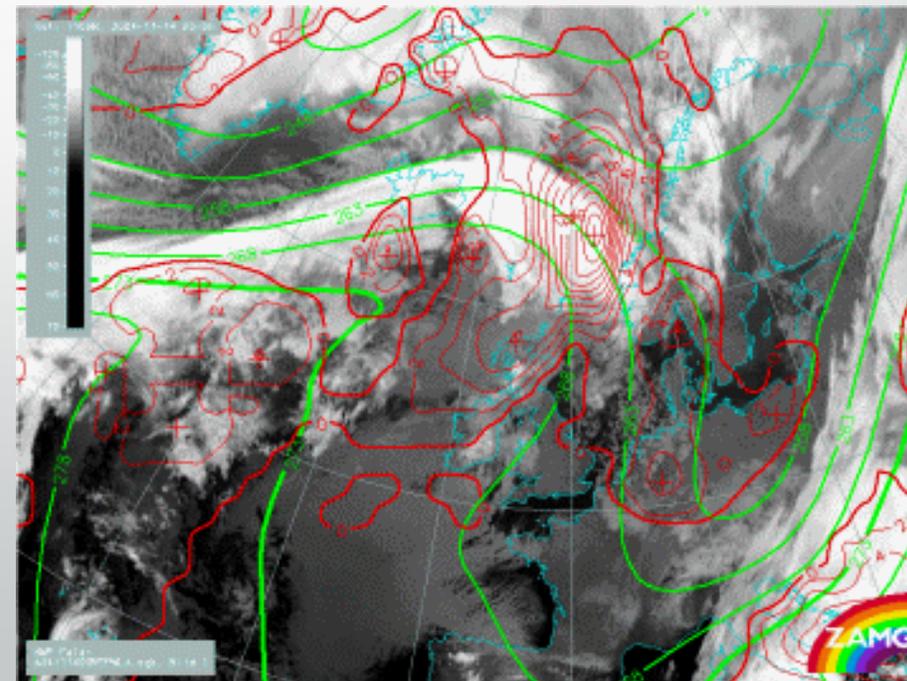
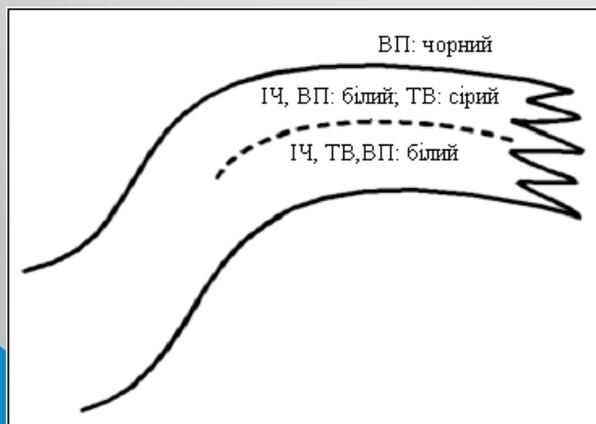
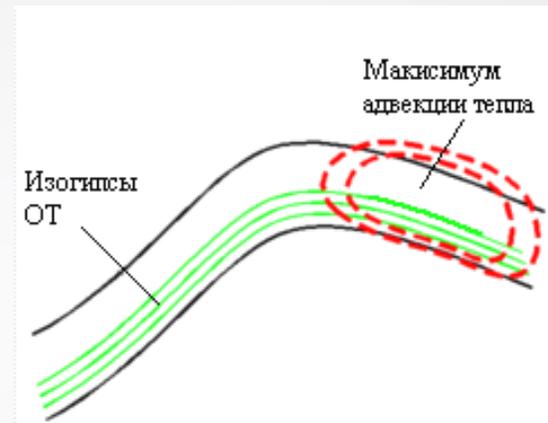
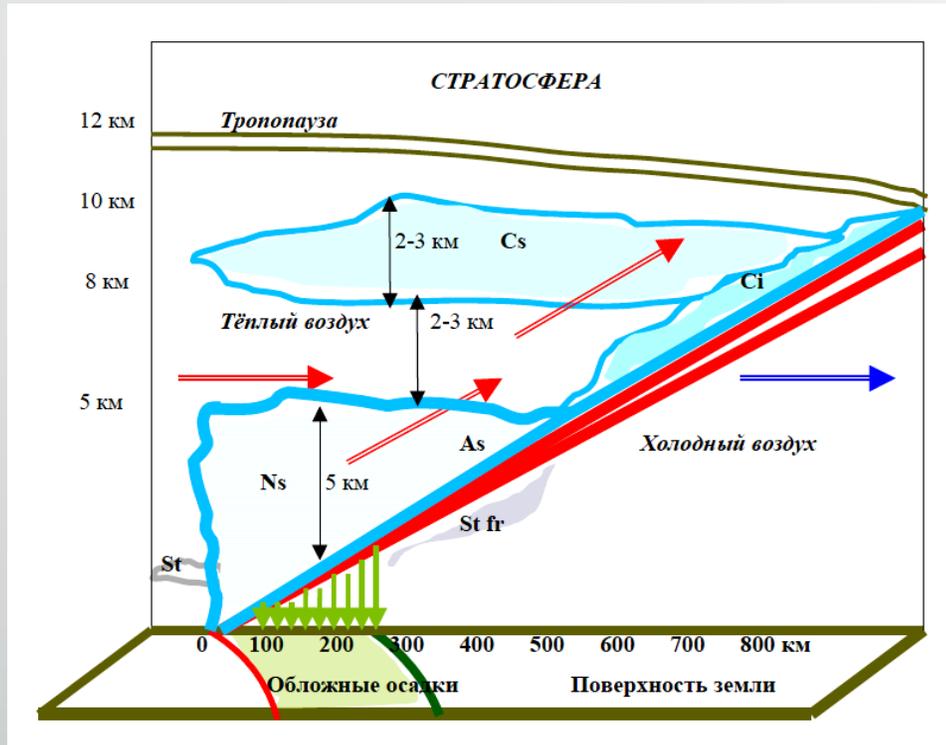
Облачность лежит в зоне максимальных значений ТФП, ось СТ пересекает облачную полосу



Облачность холодного ката-фронта

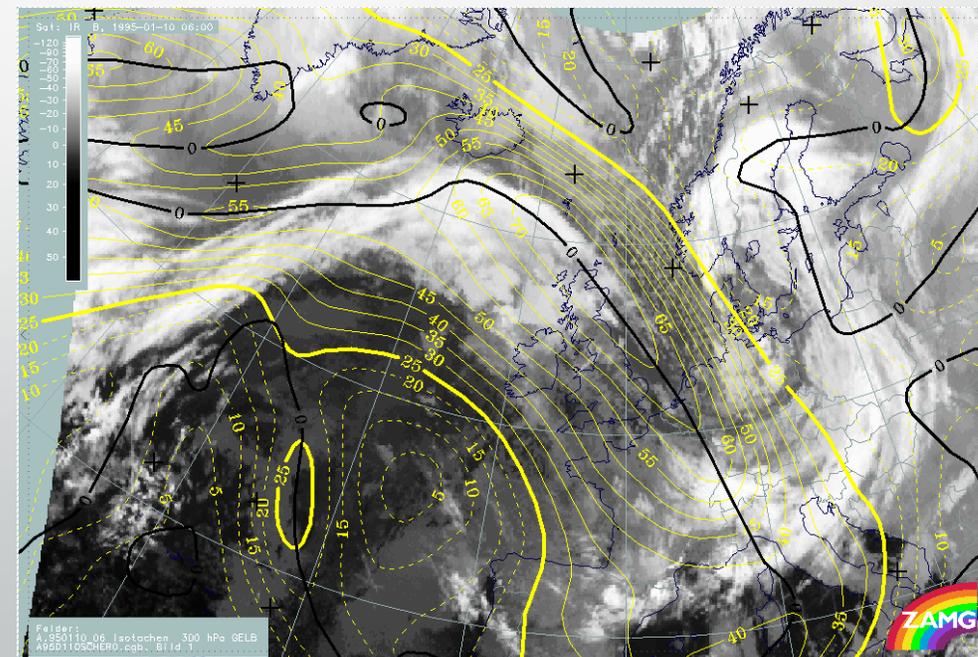
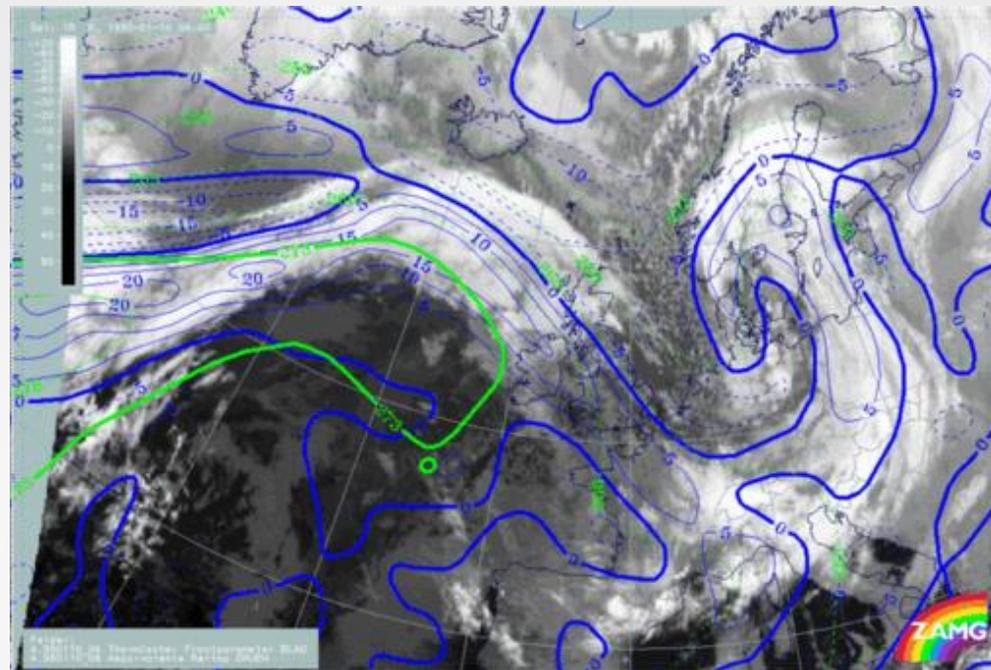
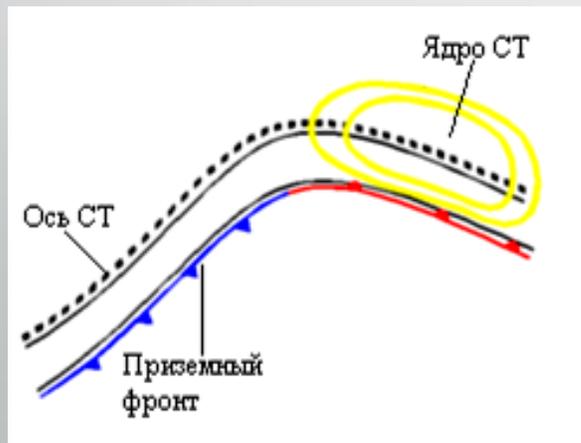


Облачность теплых фронтов

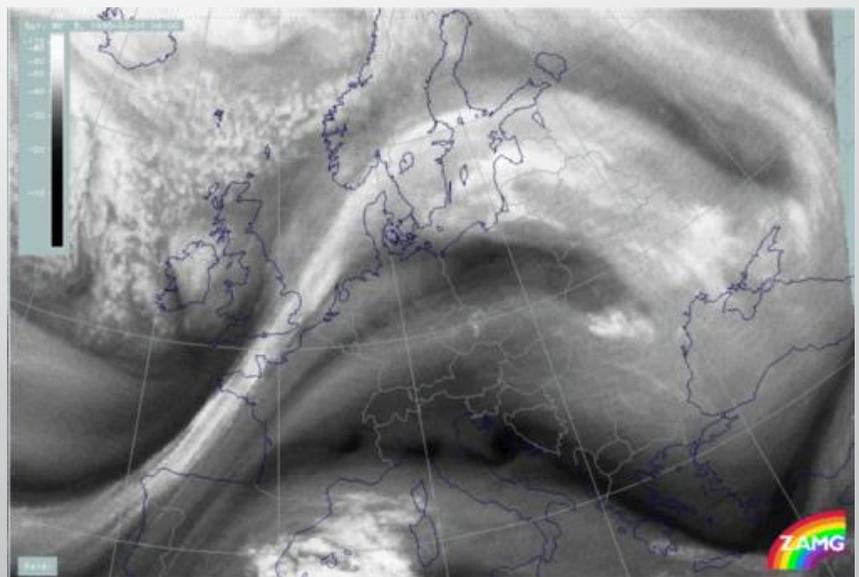
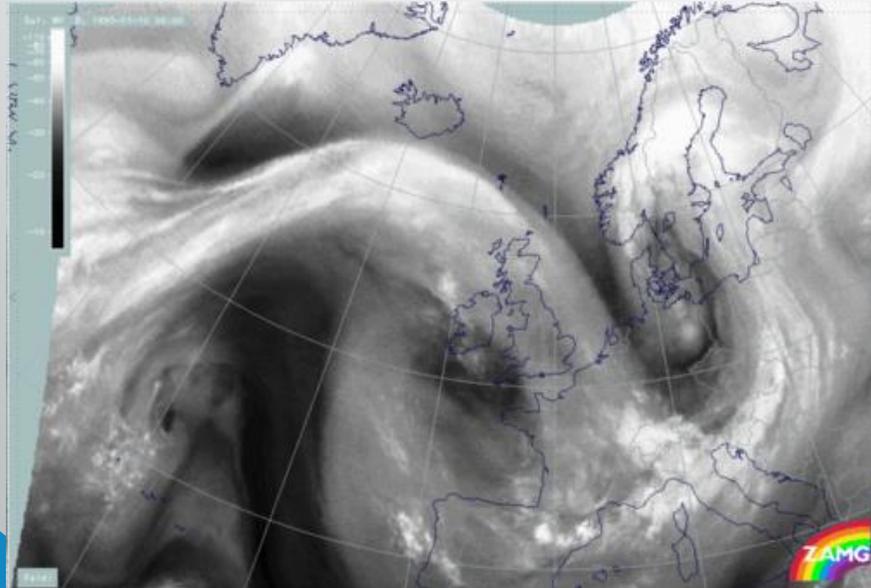
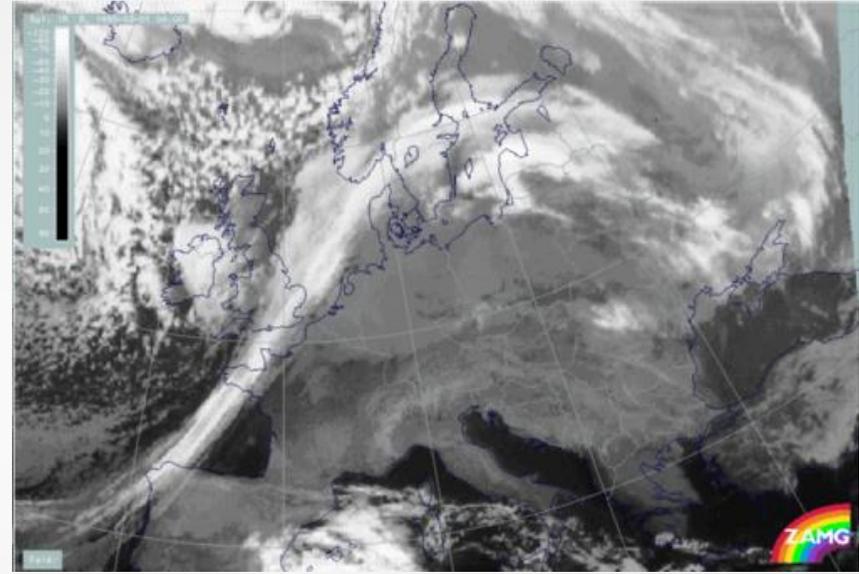


Облачность теплых фронтов

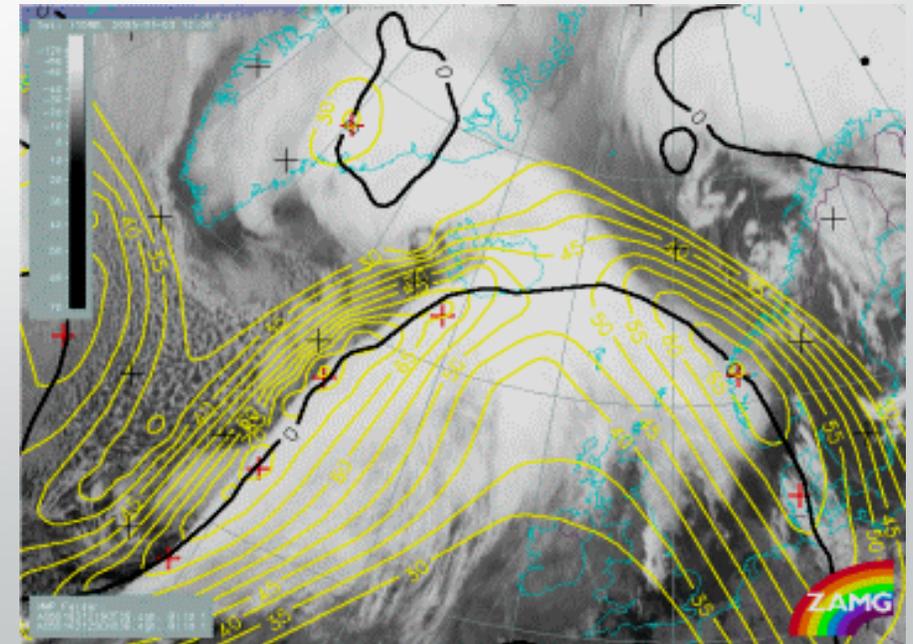
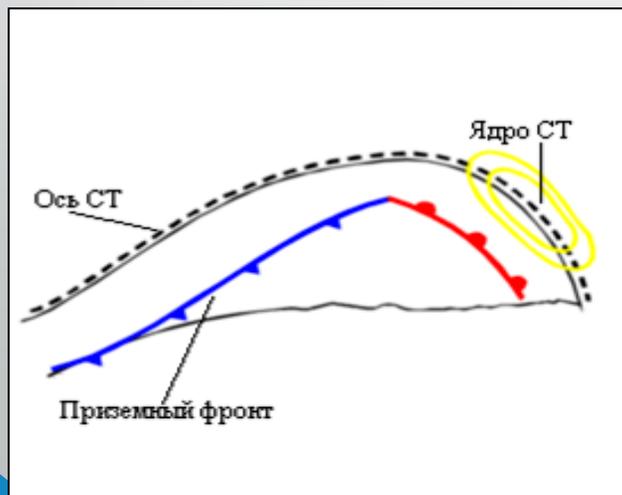
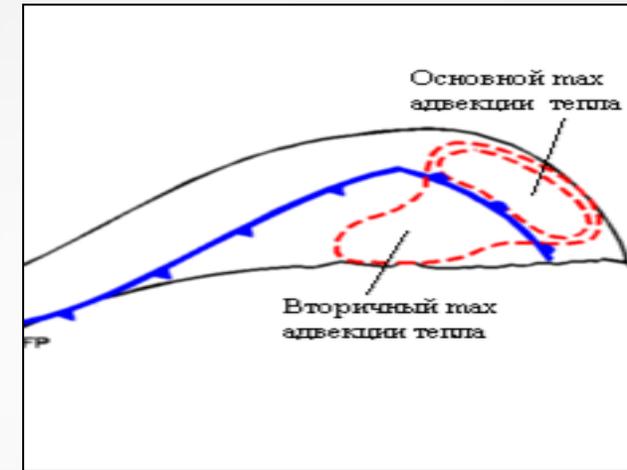
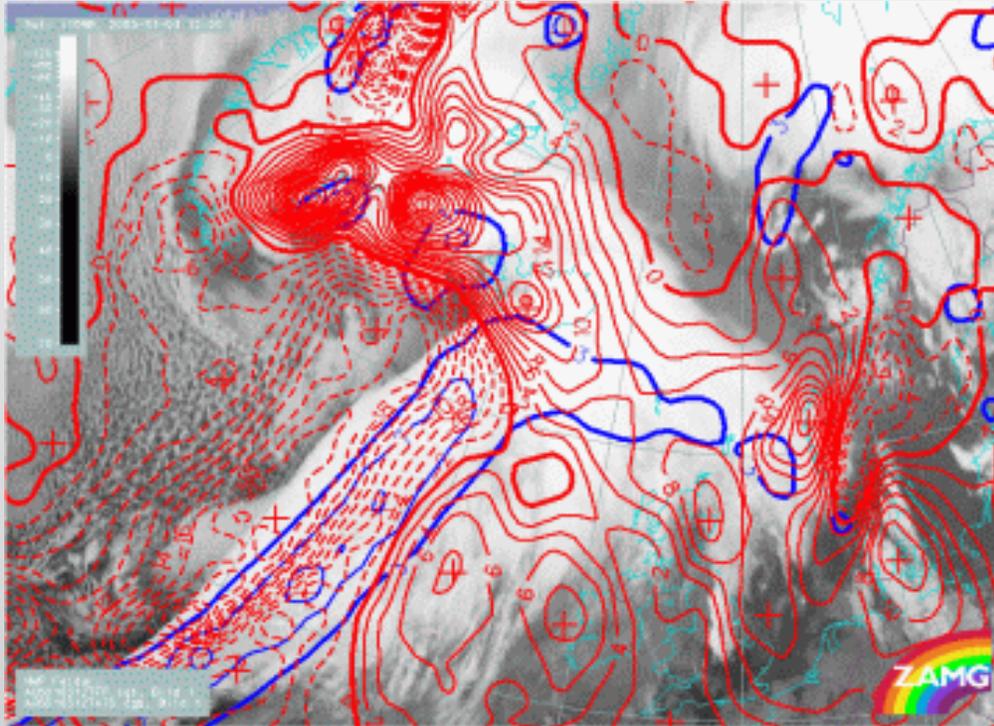
Облачная полоса ТФ лежит в зоне максимума ТФП.
Ось СТ находится параллельно переднему краю облачной полосы ТФ



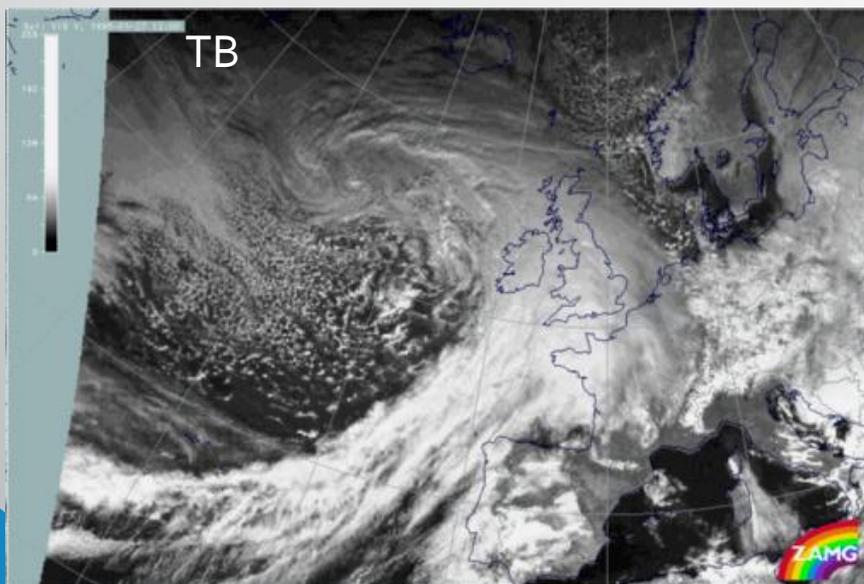
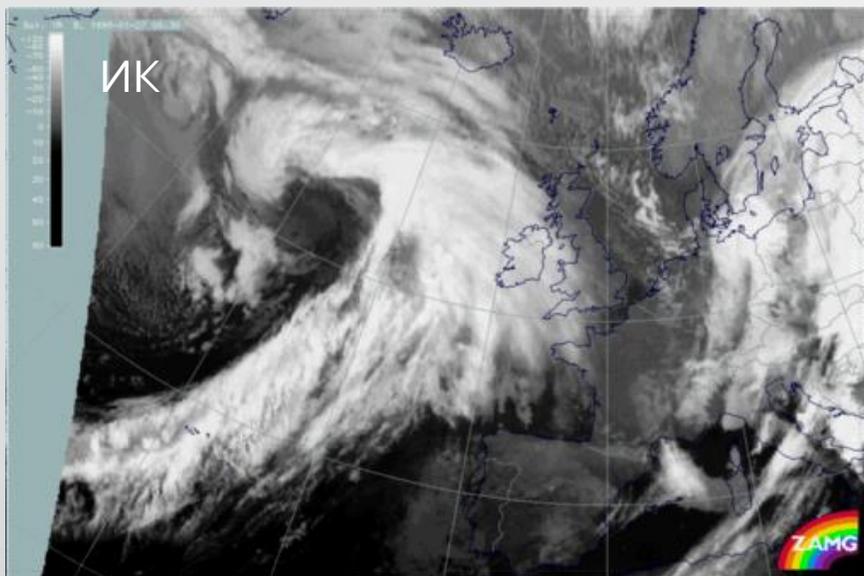
Облачность теплых фронтов



Облачный щит теплого фронта

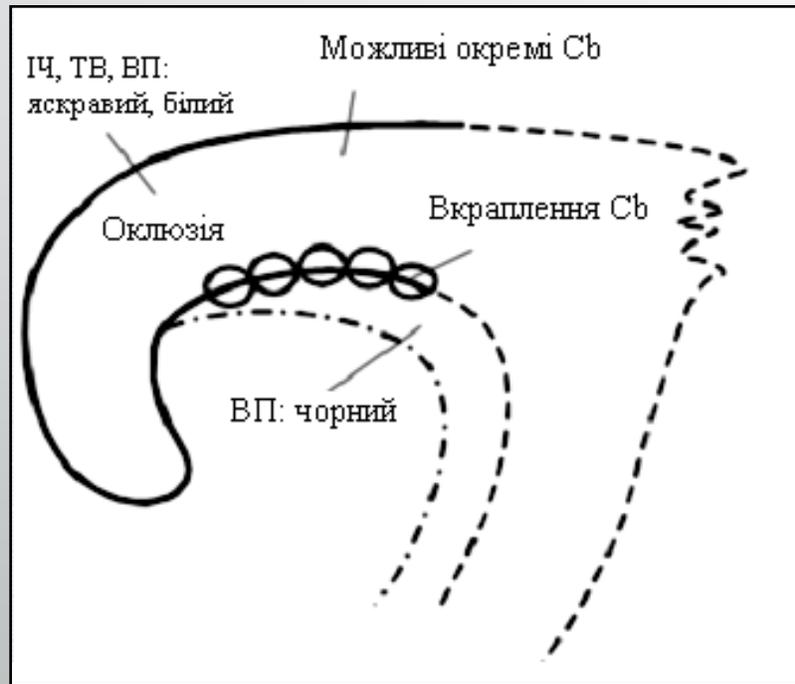
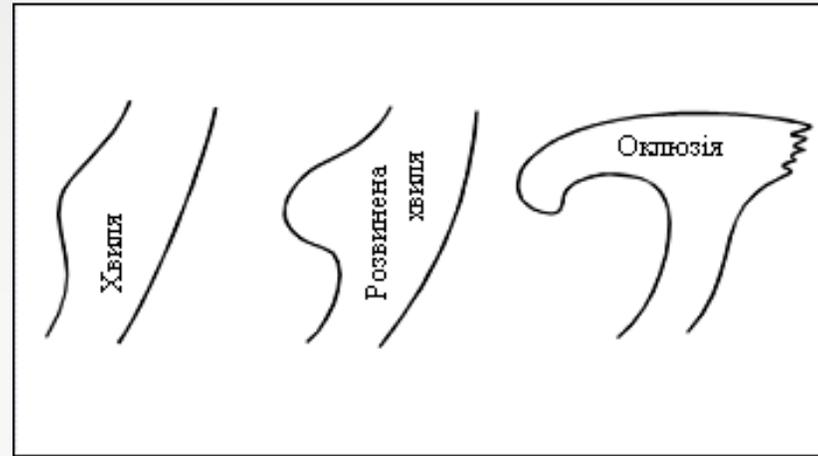


Облачный щит теплого фронта

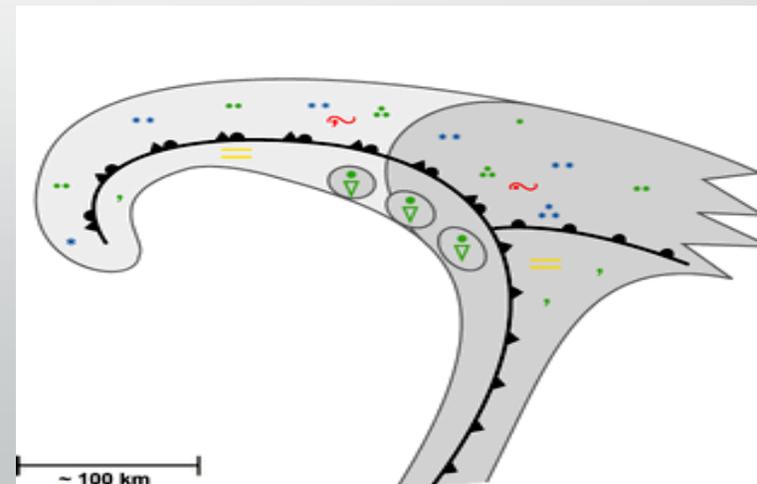


Облачность фронтов окклюзии

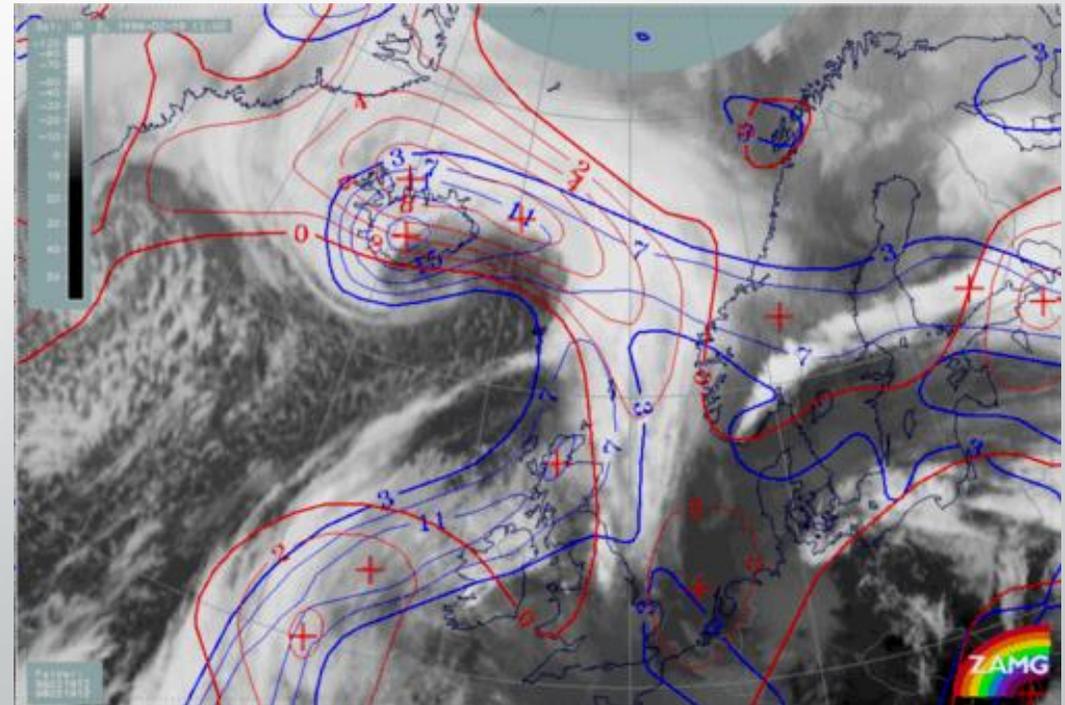
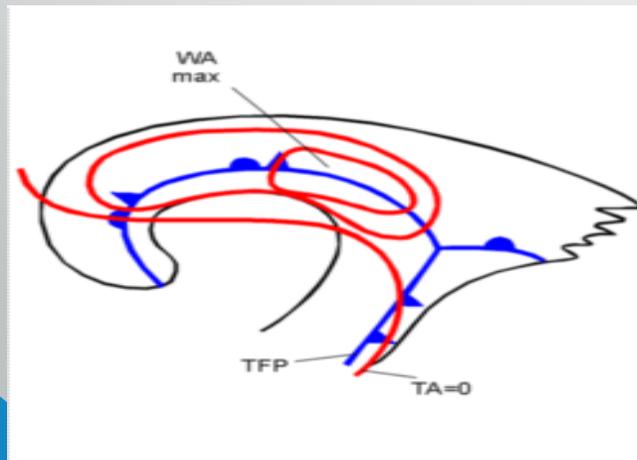
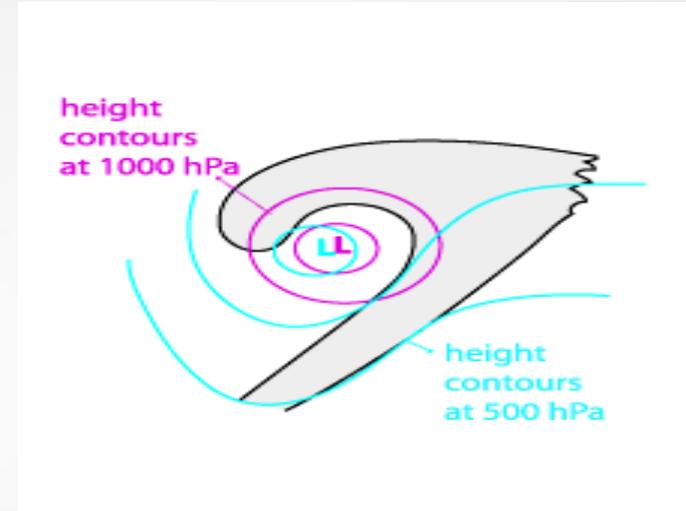
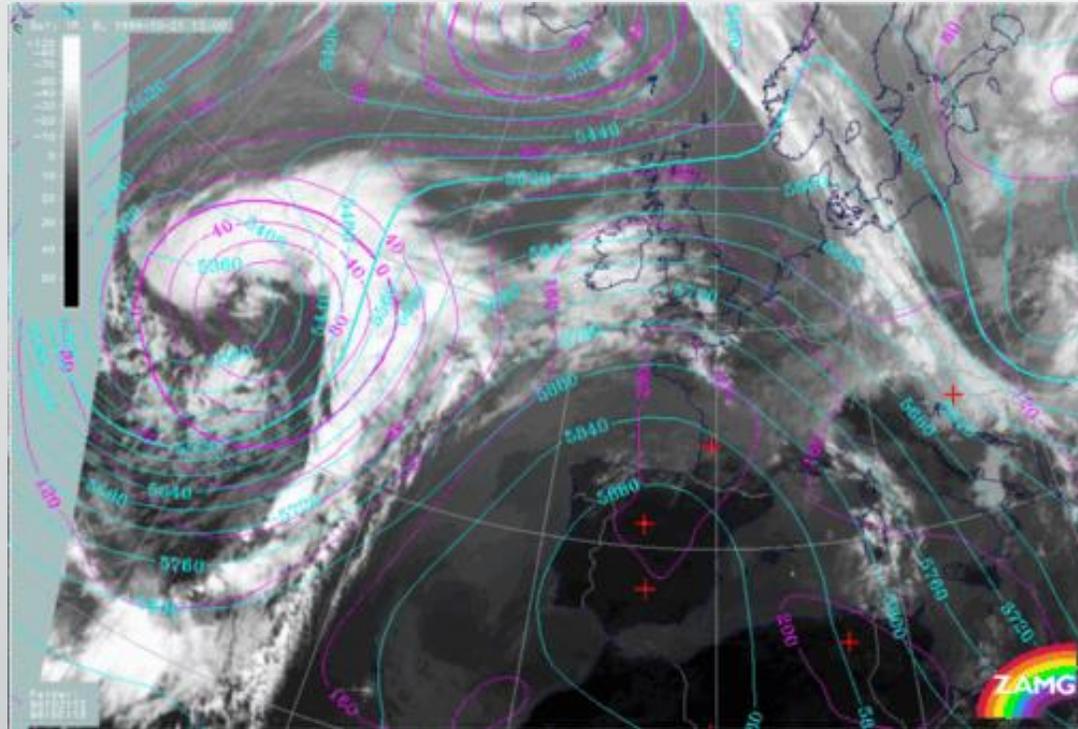
Стадии развития
облачности фронта
окклюзии



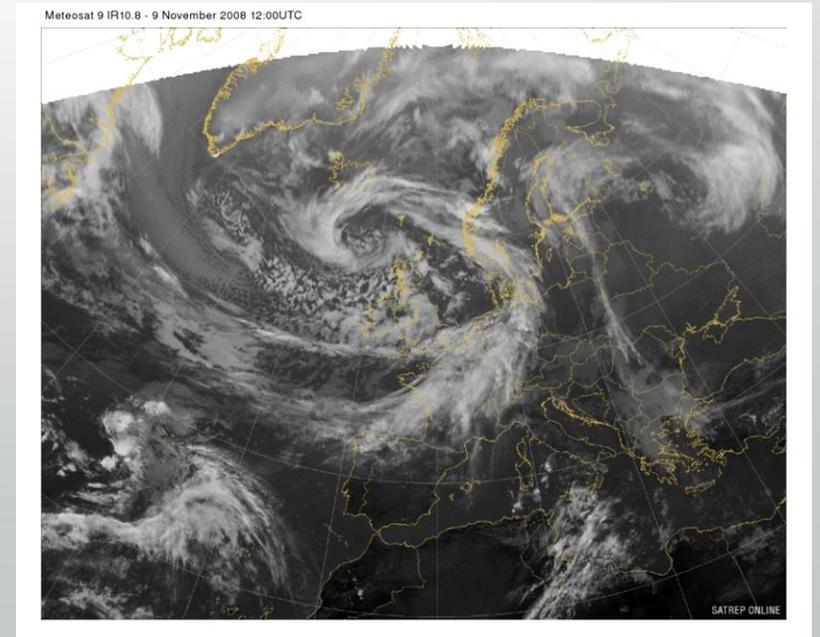
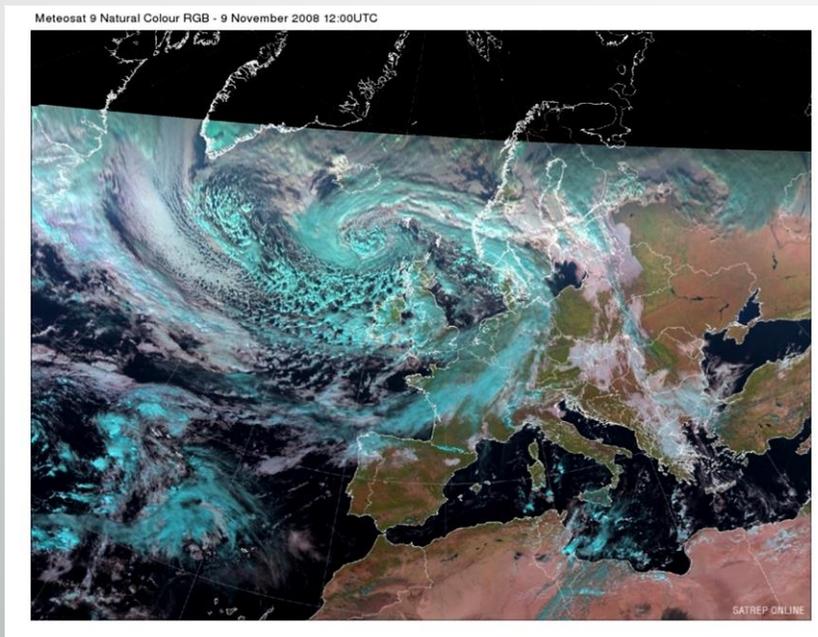
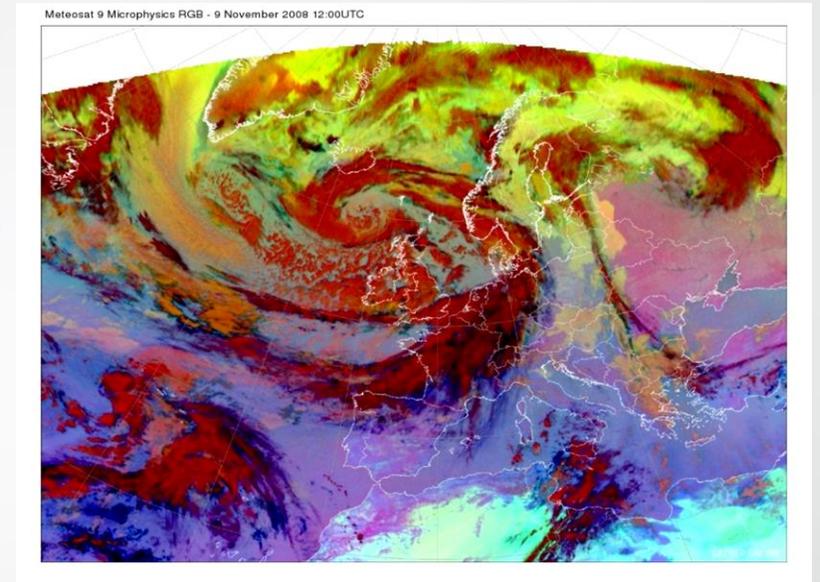
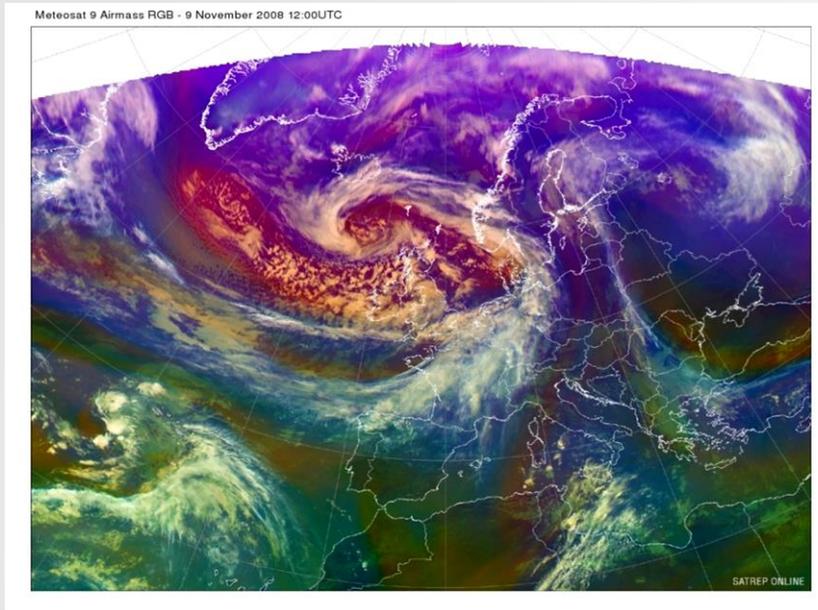
Структура
облачної спіралі
фронта окклюзии



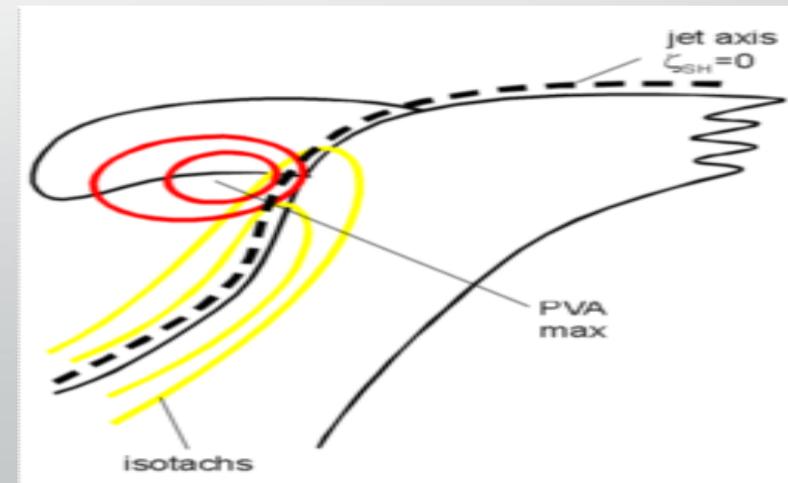
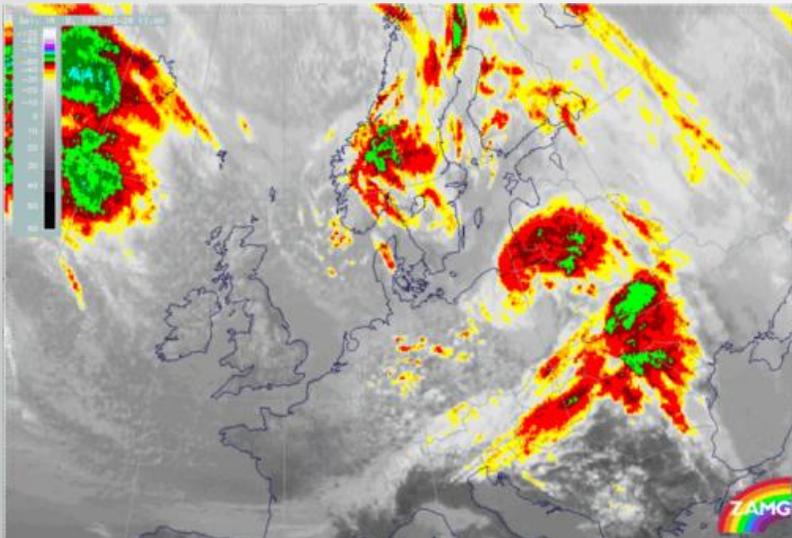
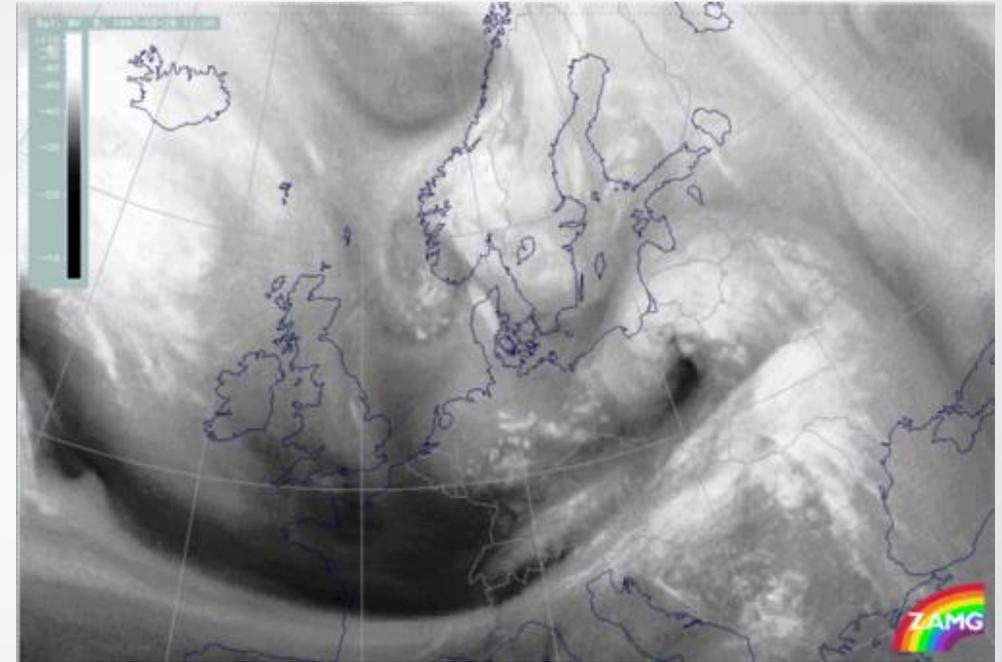
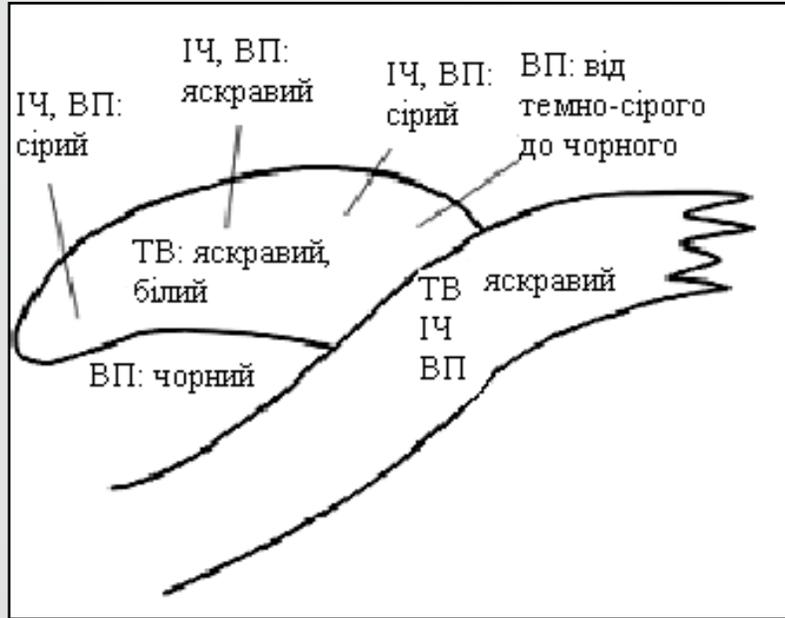
Облачная спираль фронта окклюзии

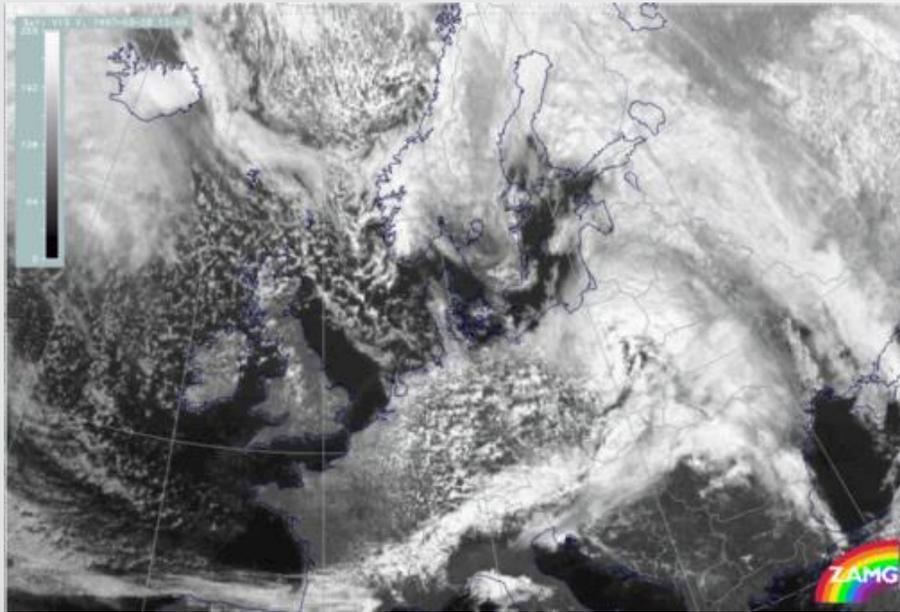


Облачная спираль фронта оклюзии на комбинированных снимках

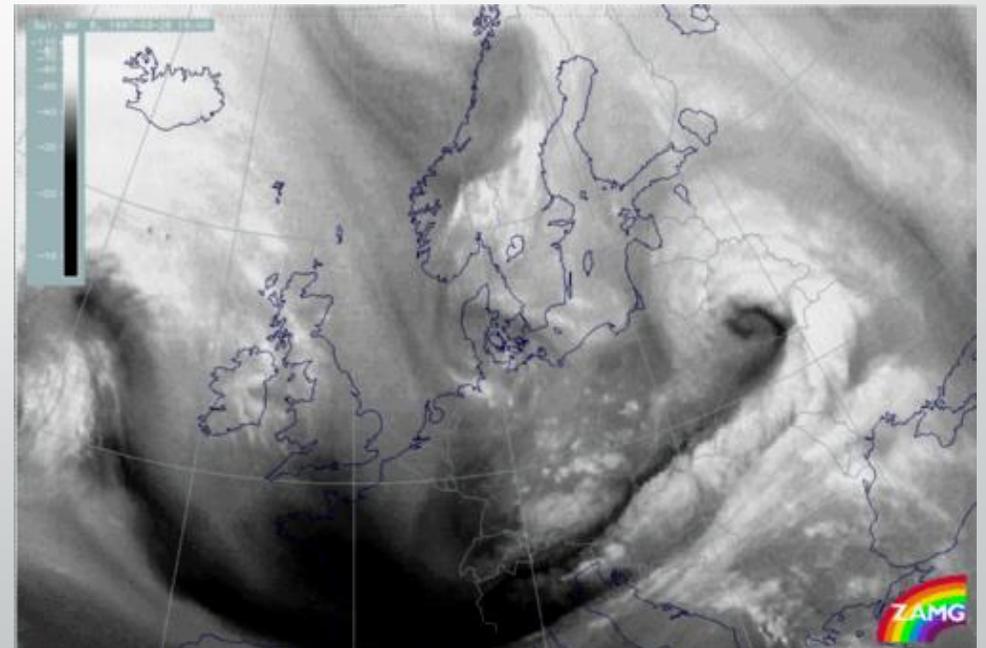
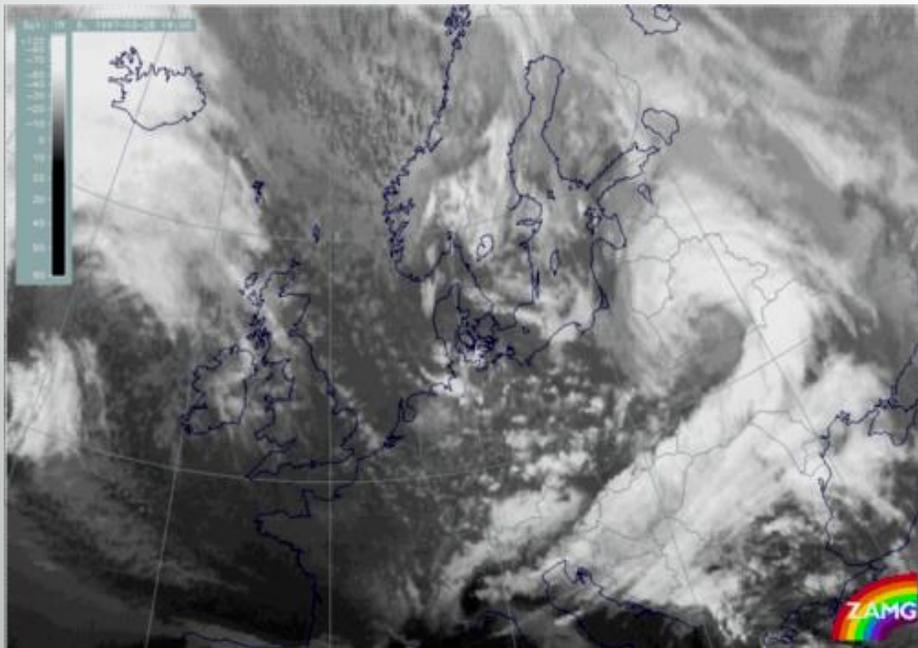


Присоединенная окклюзия

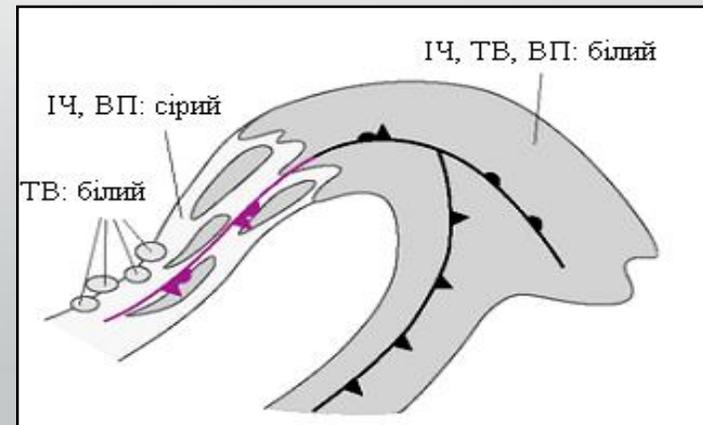
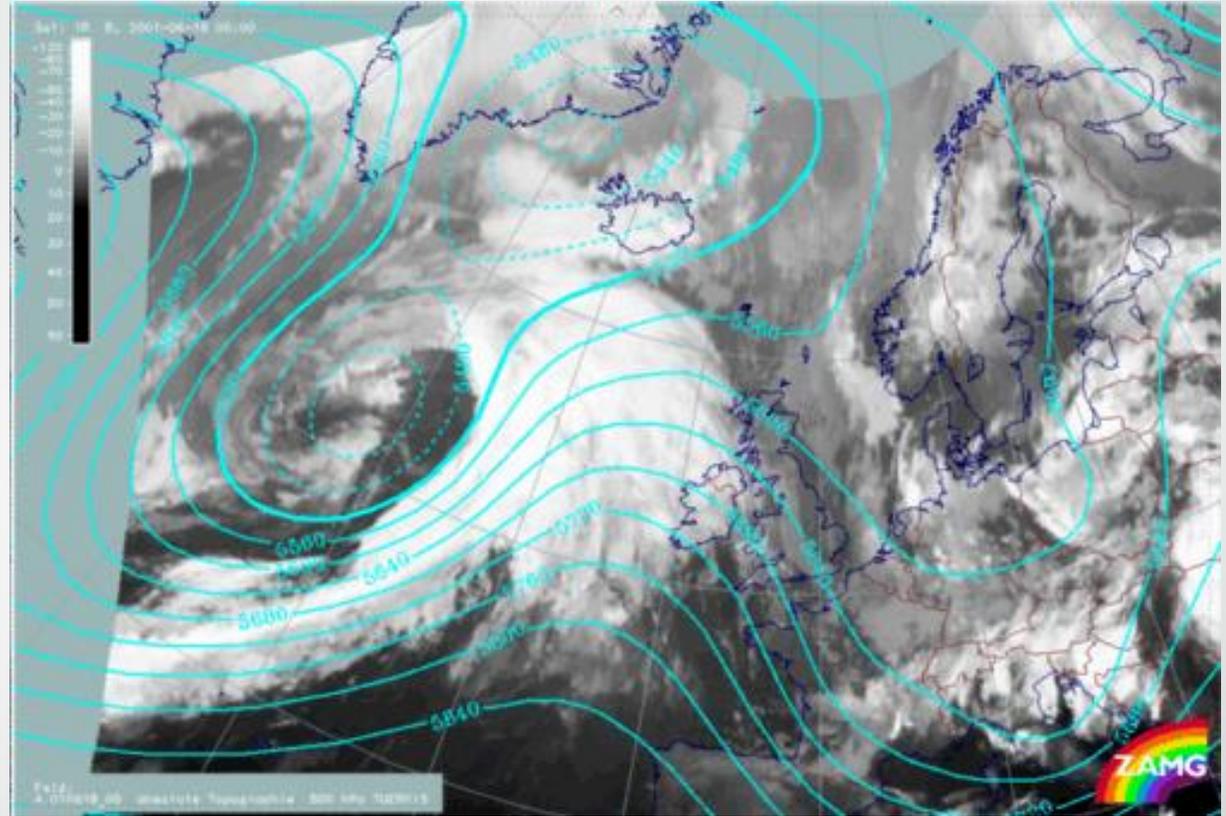
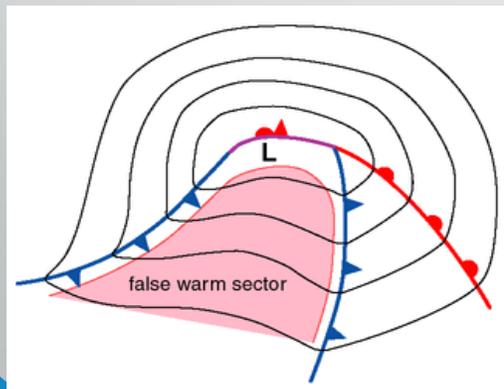
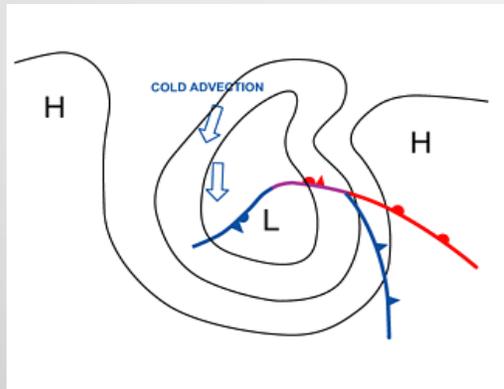
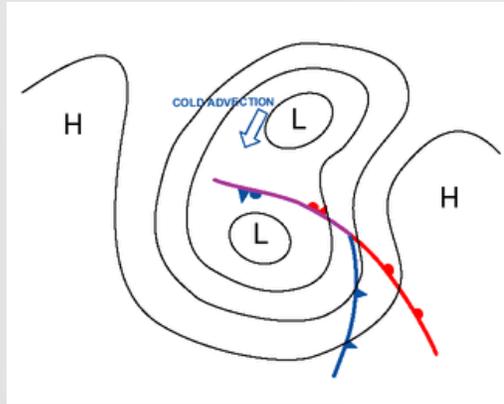




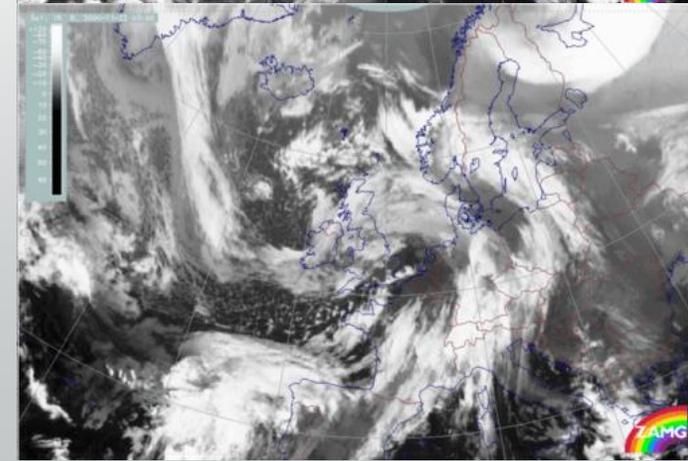
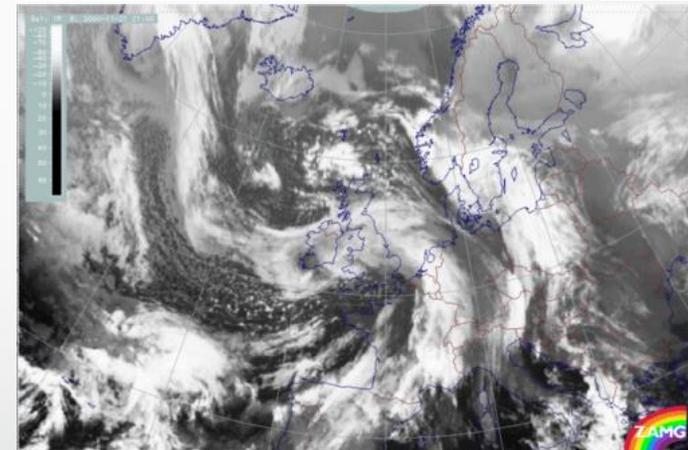
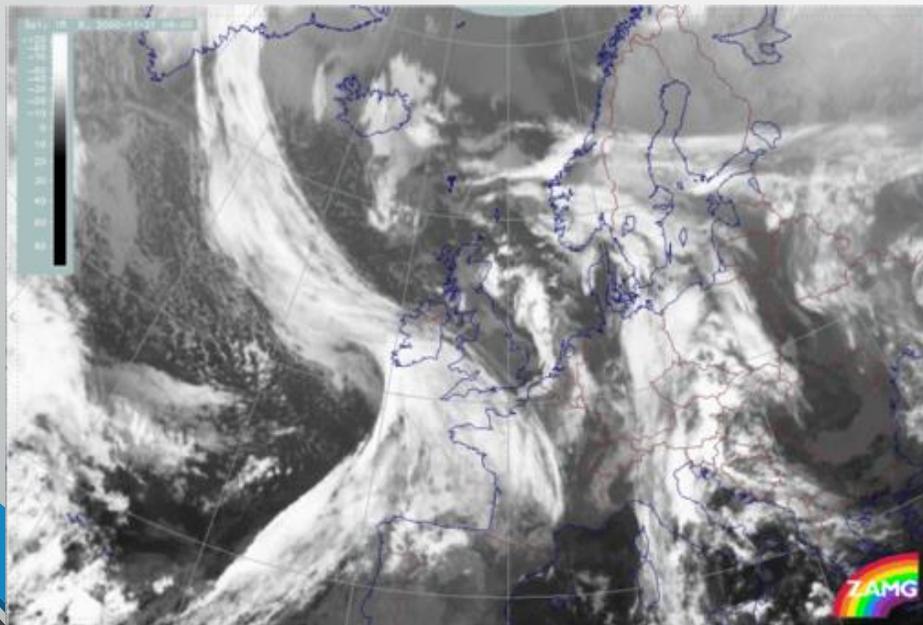
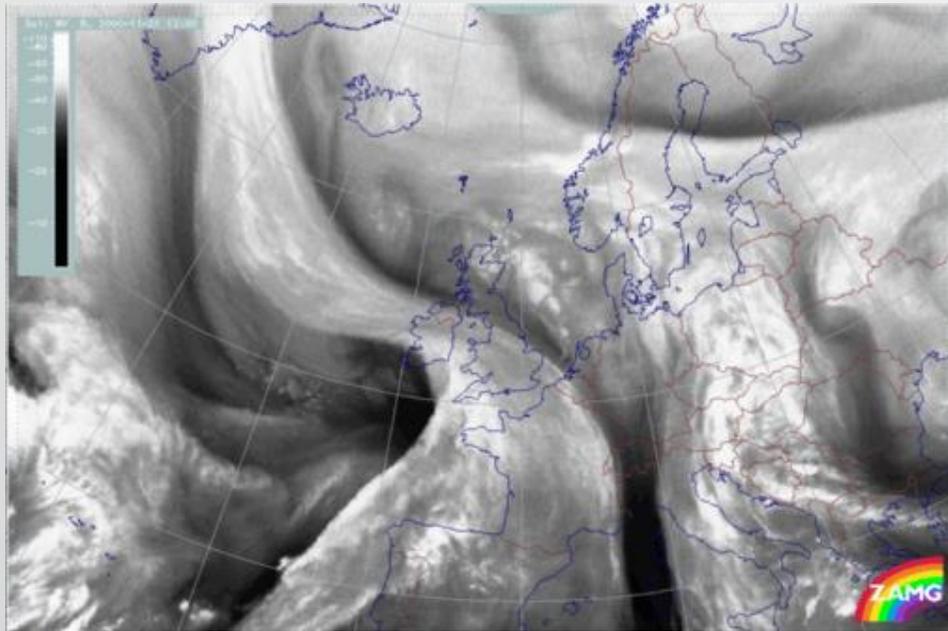
**В дальнейшем граница
присоединения фронта
окклюзии к холодному
фронту исчезает**



Обратная или загнутая окклюзия



Обратная окклюзия





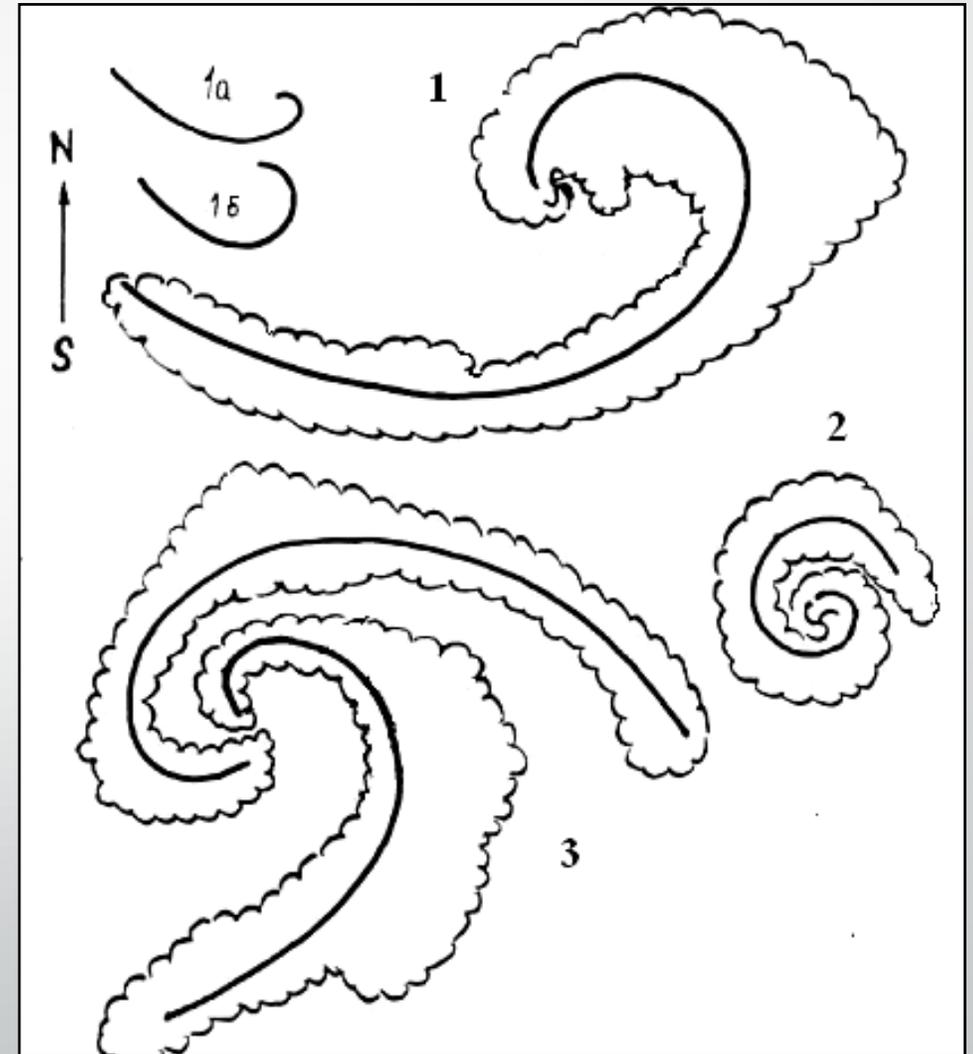
**Облачность
циклонов
(признаки
циклогенеза)**

Типы облачных спиралей циклонов

1. Облачные спирали правильной вытянутой формы, близкие к виду логарифмической или гиперболической спирали. Соответствуют термически неоднородным, развитым и подвижным циклонам, как правило, в начальных фазах развития.

2. Облачные вихри правильной округлой формы, которые напоминают спираль Архимеда. Соответствуют малоподвижным, термически однородным, холодным и изолированным циклонам, как правило, в последних фазах развития.

3. Облачные вихри неправильной формы. Соответствуют термически неоднородным циклонам в процессе регенерации, многоцентровым депрессиям.

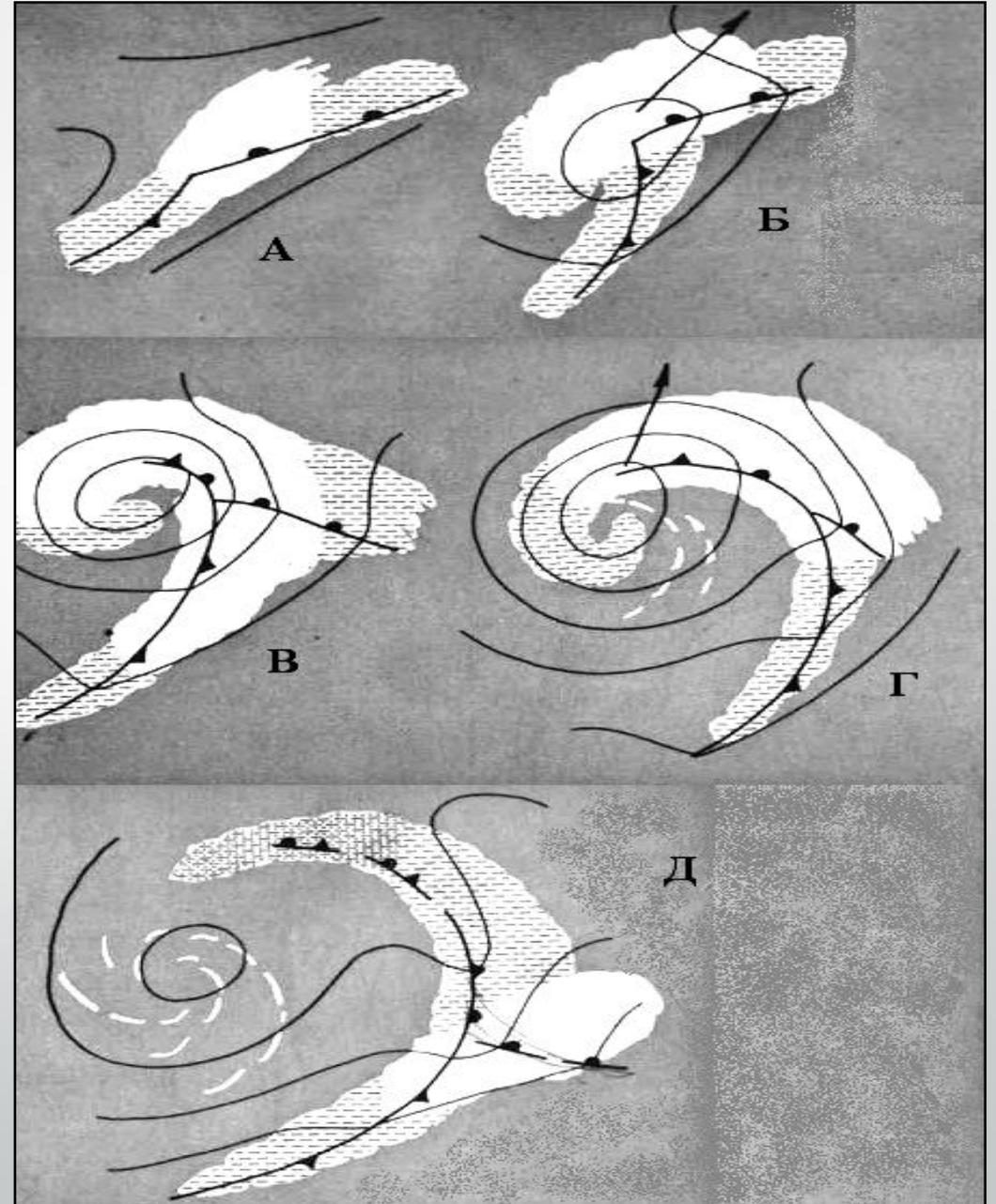


Фазы развития внетропических циклонов

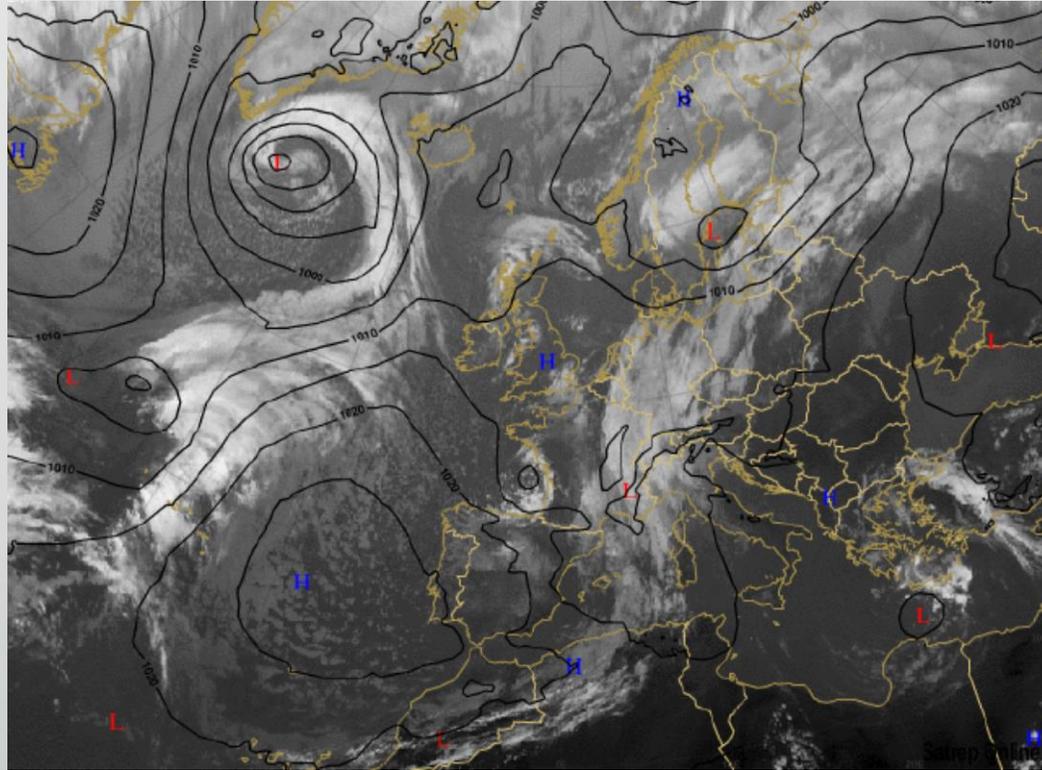
- В синоптической метеорологии выделяют три стадии развития фронтальных циклонов:
 - а) стадия волны,
 - б) стадия молодого циклона,
 - в) стадия окклюдированного циклона.
- Всемирная метеорологическая организация с учетом развития облачности в циклоне предлагает выделять шесть стадий их развития:
 - а) стадия волны;
 - б) стадия молодого циклона;
 - в) стадия развитого циклона (максимальное развитие);
 - г) стадия начала окклюдирования циклона;
 - д) стадия окклюдированного циклона;
 - е) стадия диссипации.

Схема развития облачности циклона

- а) Волна;
- б) Молодой циклон;
- в) Развитый циклон;
- г) Окклюдированный циклон;
- д) Диссипация циклона.

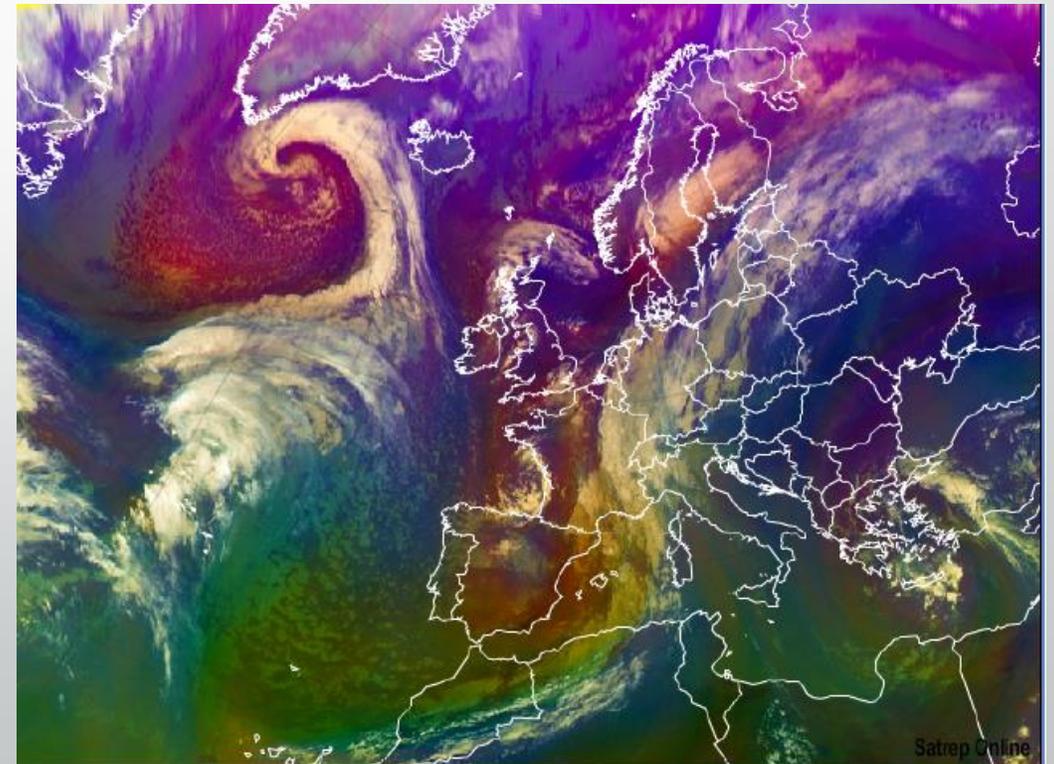


Развитие циклона 15-18 ноября 2010 года

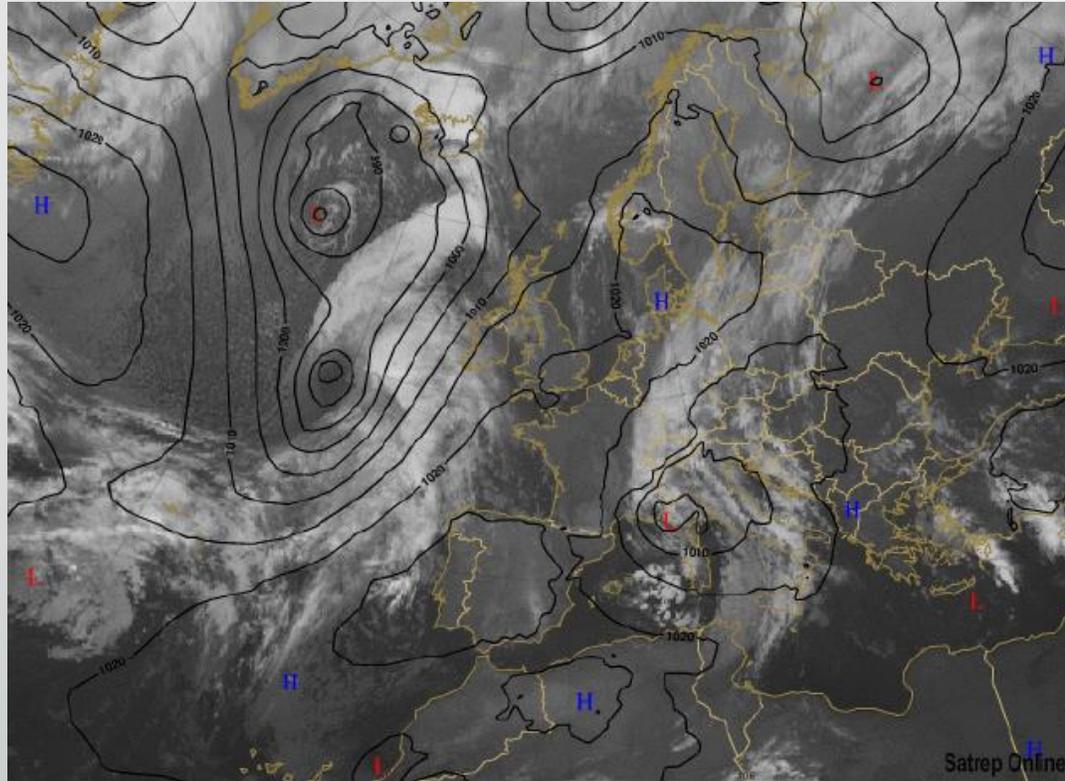


15.11.2010, 12 UTC
Развитие циклонов
над Атлантикой и
Европой

Стадия волны

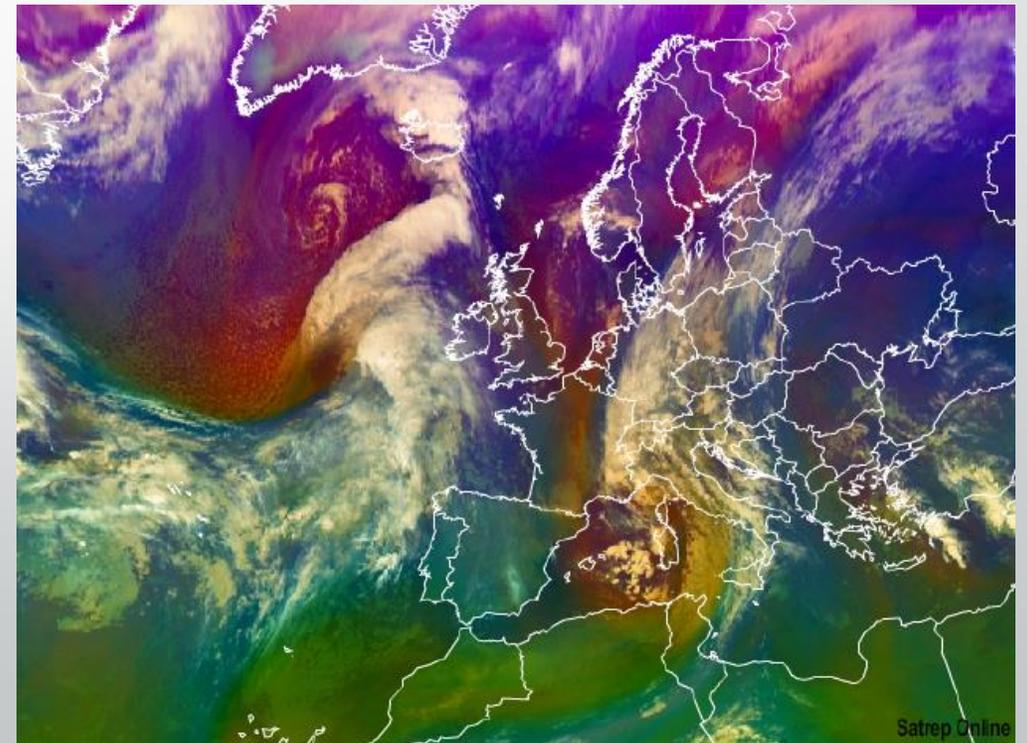


Развитие циклона 15-18 ноября 2010 года

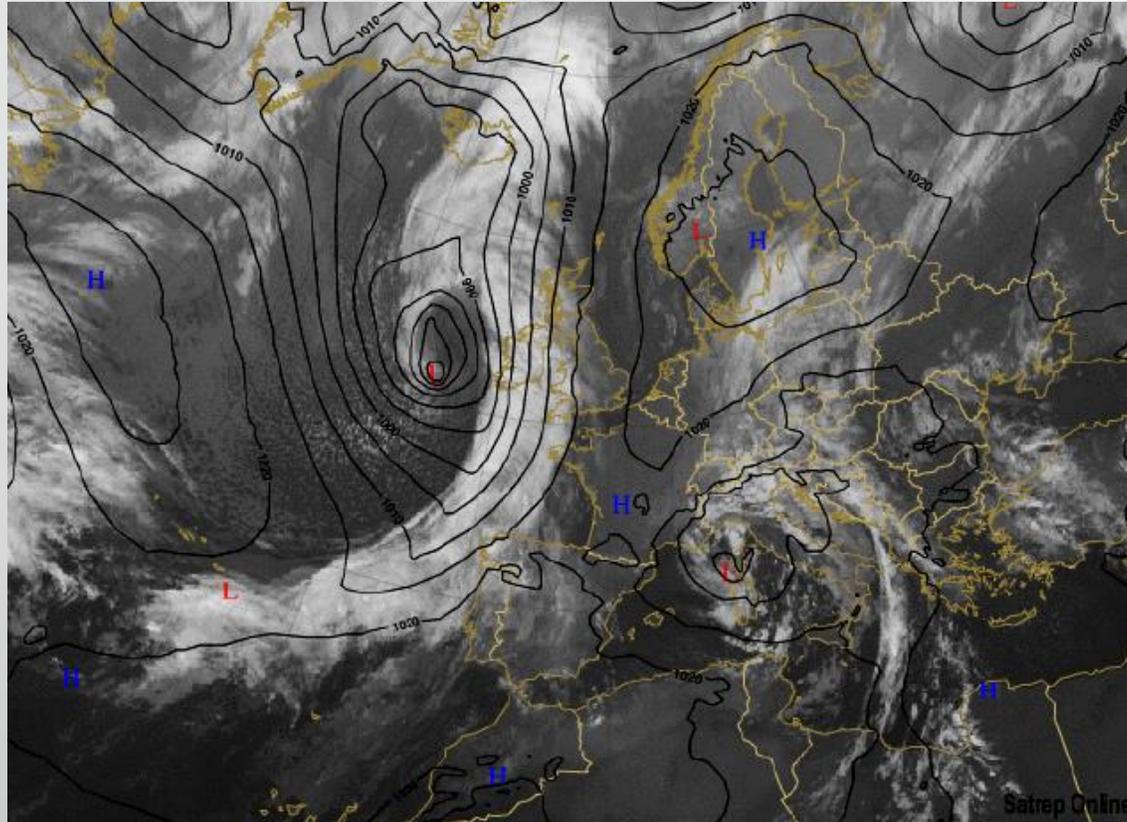


Молодой циклон

16.11.2010, 06 UTC
Развитие циклонов
над Атлантикой и
Европой

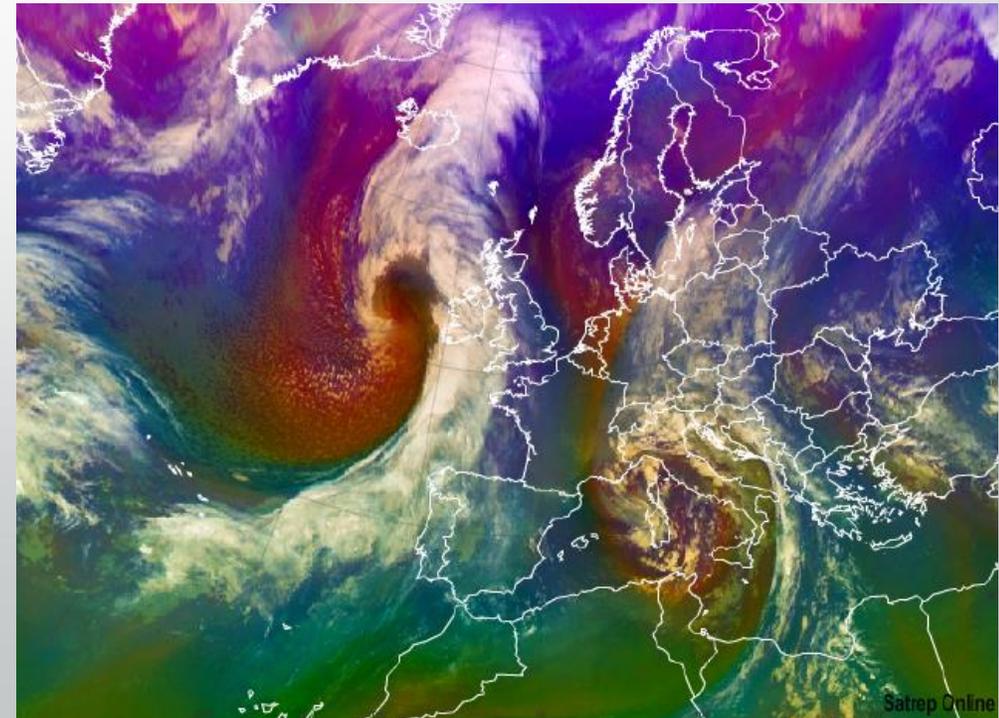


Развитие циклона 15-18 ноября 2010 года

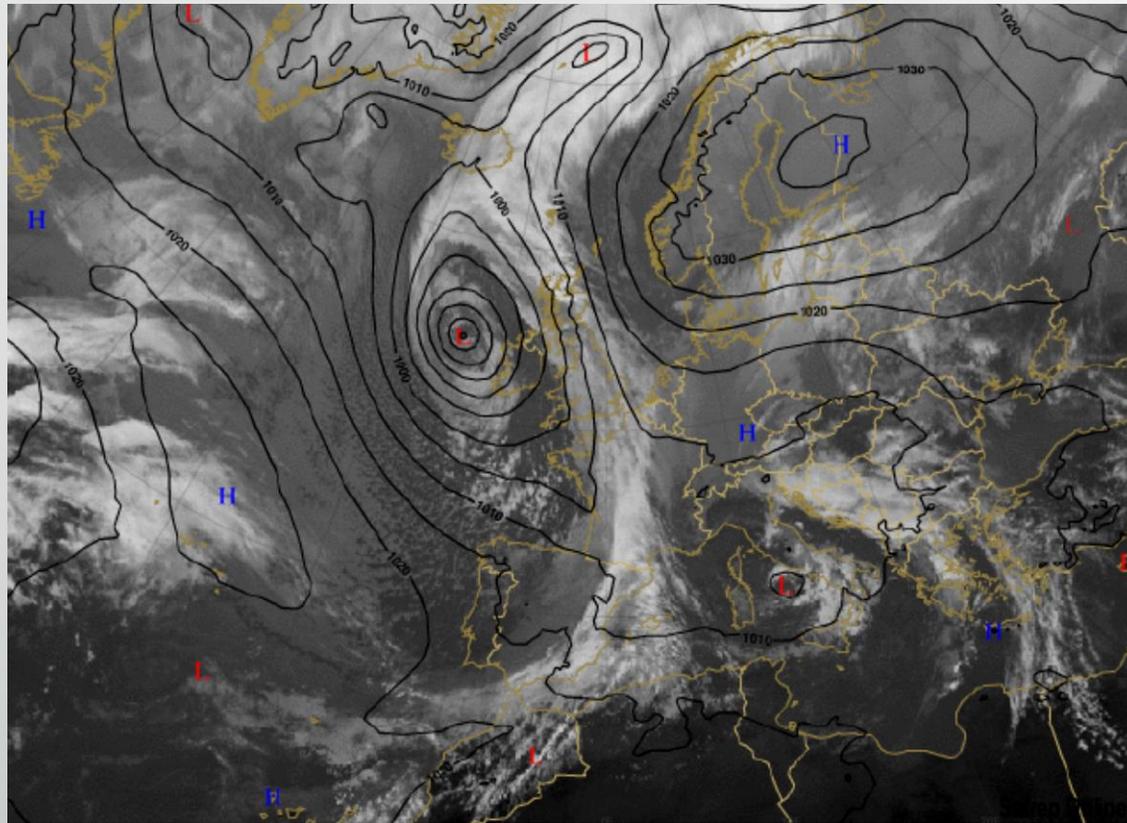


16.11.2010, 18 UTC
Развитие циклонов
над Атлантикой и
Европой

Развитый циклон над
Атлантикой
Окклюдированный циклон
над Европой

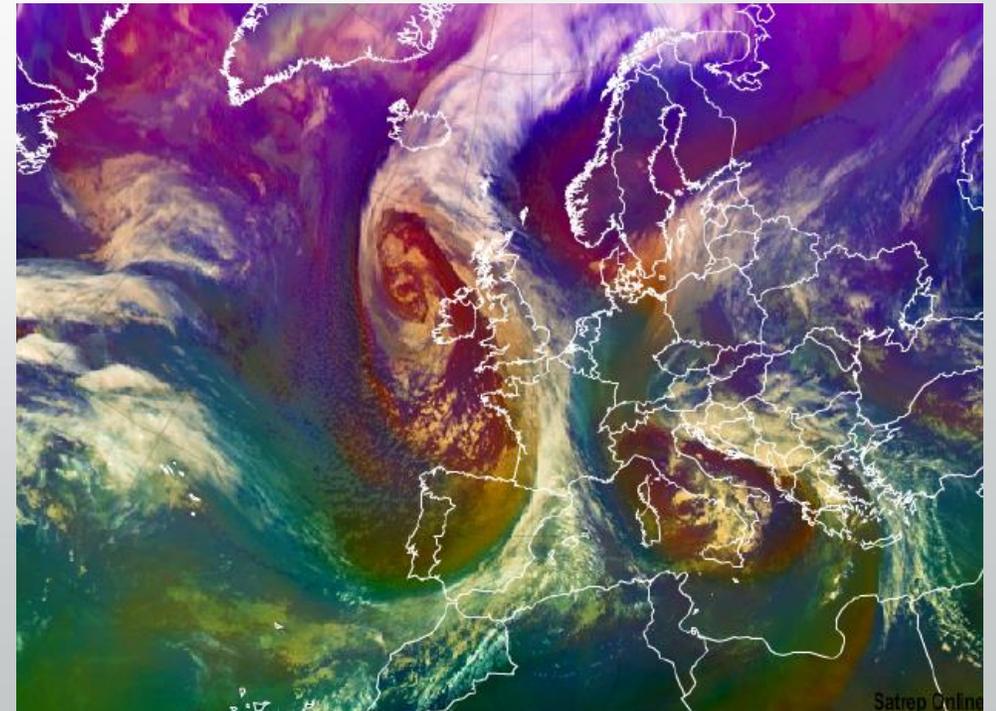


Развитие циклона 15-18 ноября 2010 года

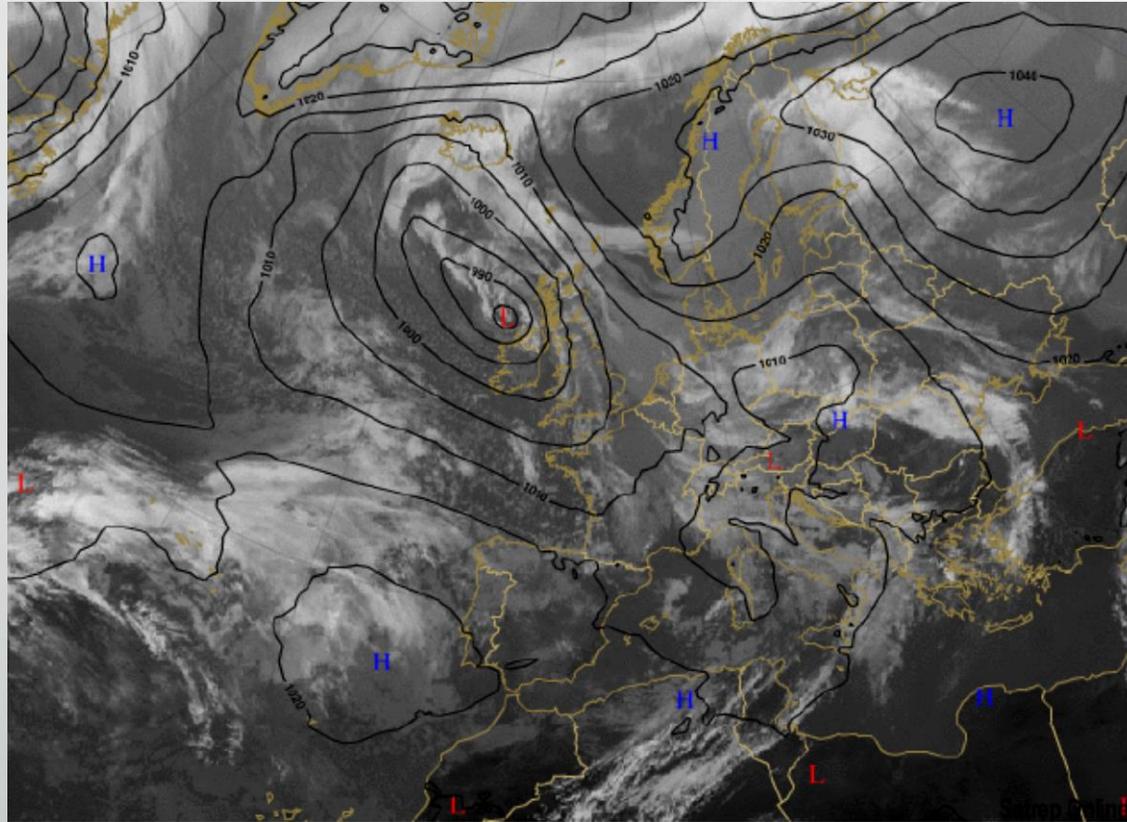


Окклюзированный циклон
над Атлантикой
Диссипация циклона над
Европой

17.11.2010, 12 UTC
Развитие циклонов
над Атлантикой и
Европой

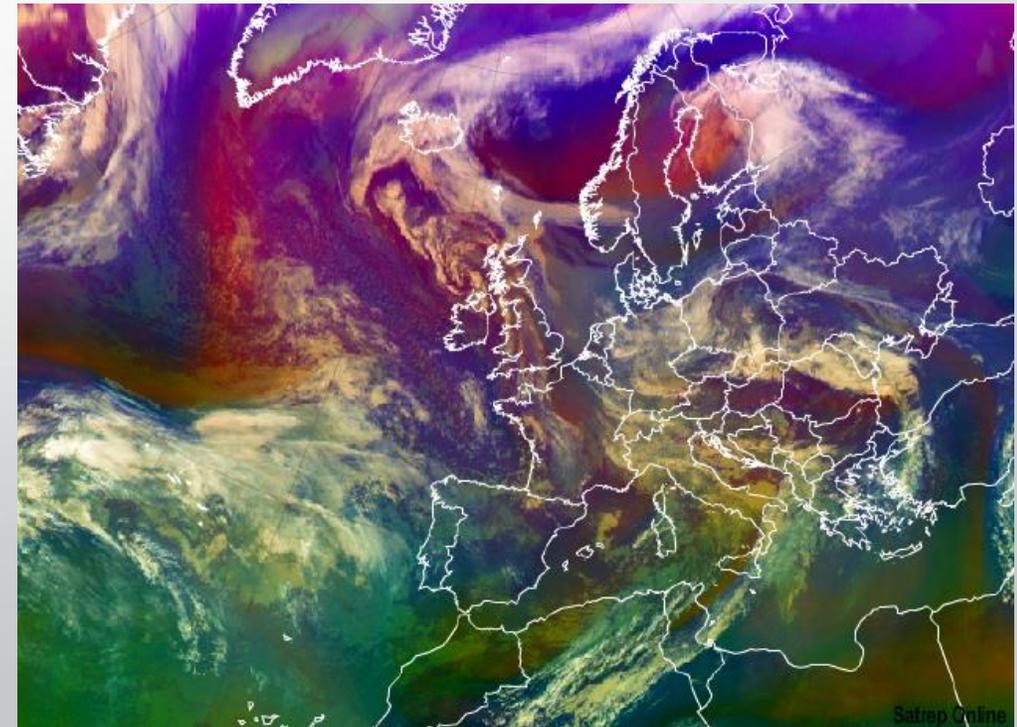


Развитие циклона 15-18 ноября 2010 года

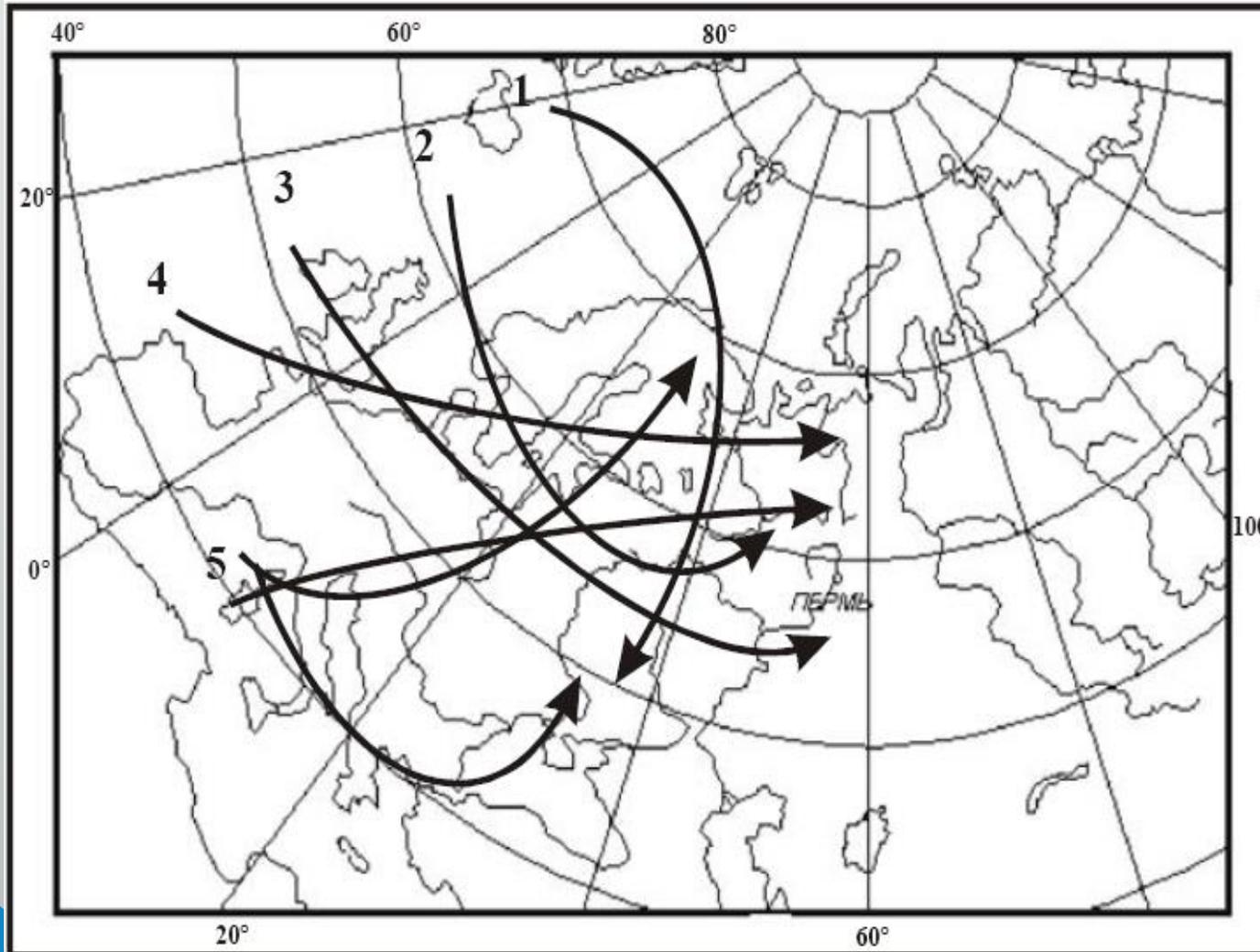


18.11.2010, 00 UTC
Развитие циклонов
над Атлантикой и
Европой

Диссипация циклона над
Атлантикой
Диссипация циклона над
Европой

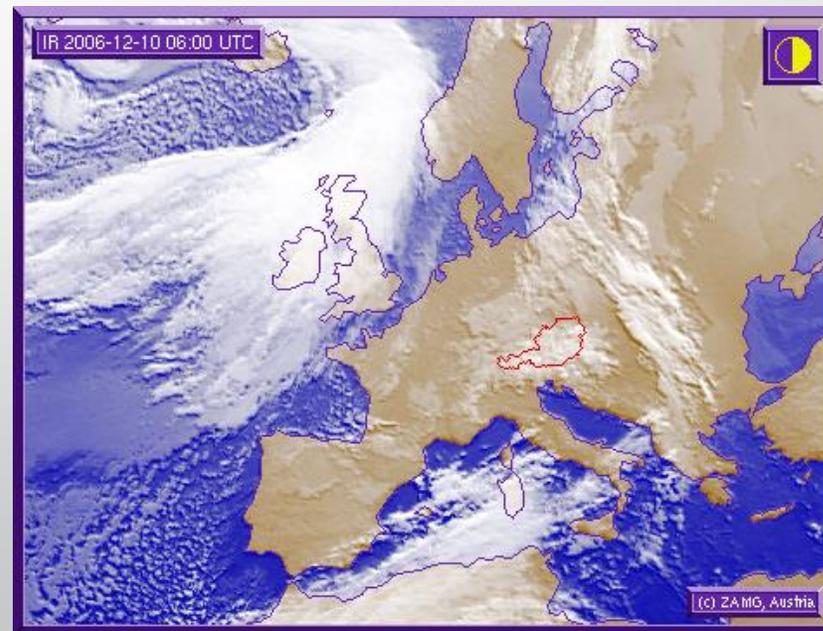
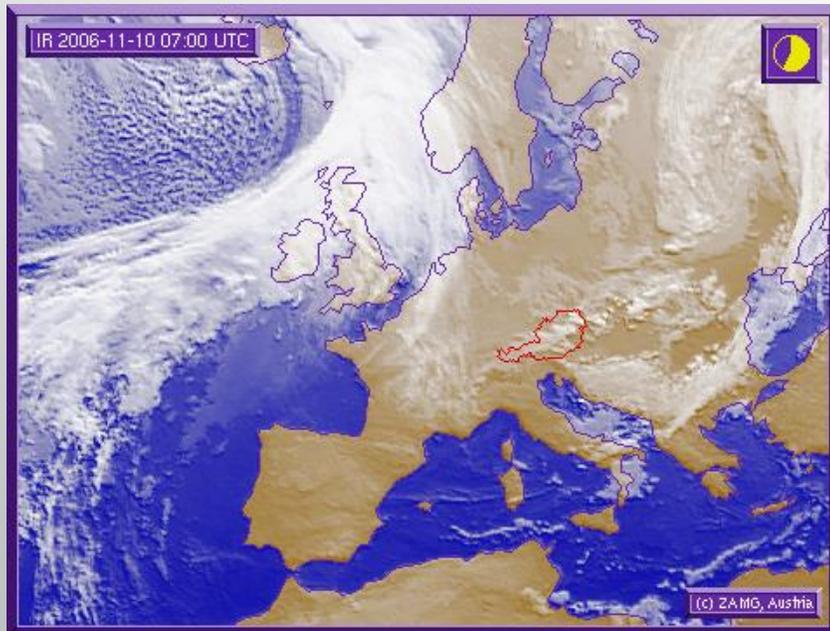
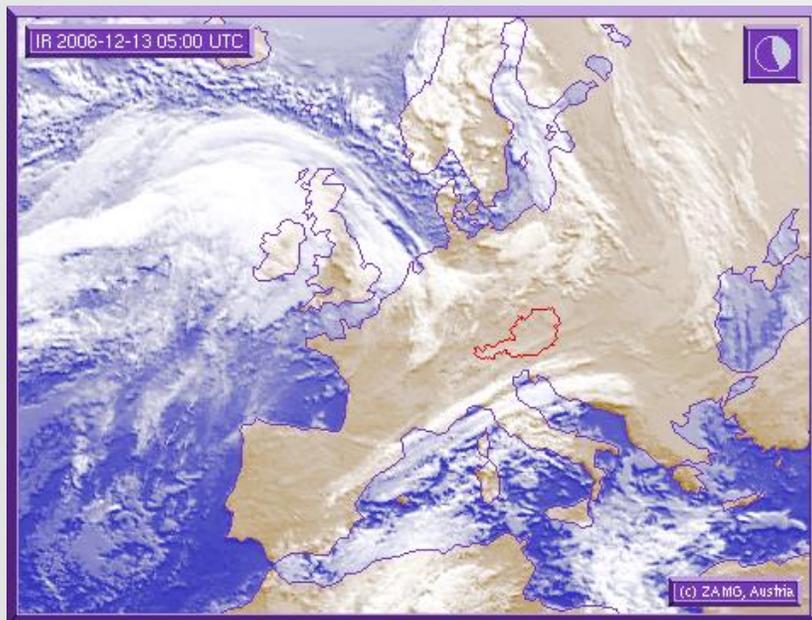


Региональные особенности облачности циклонов

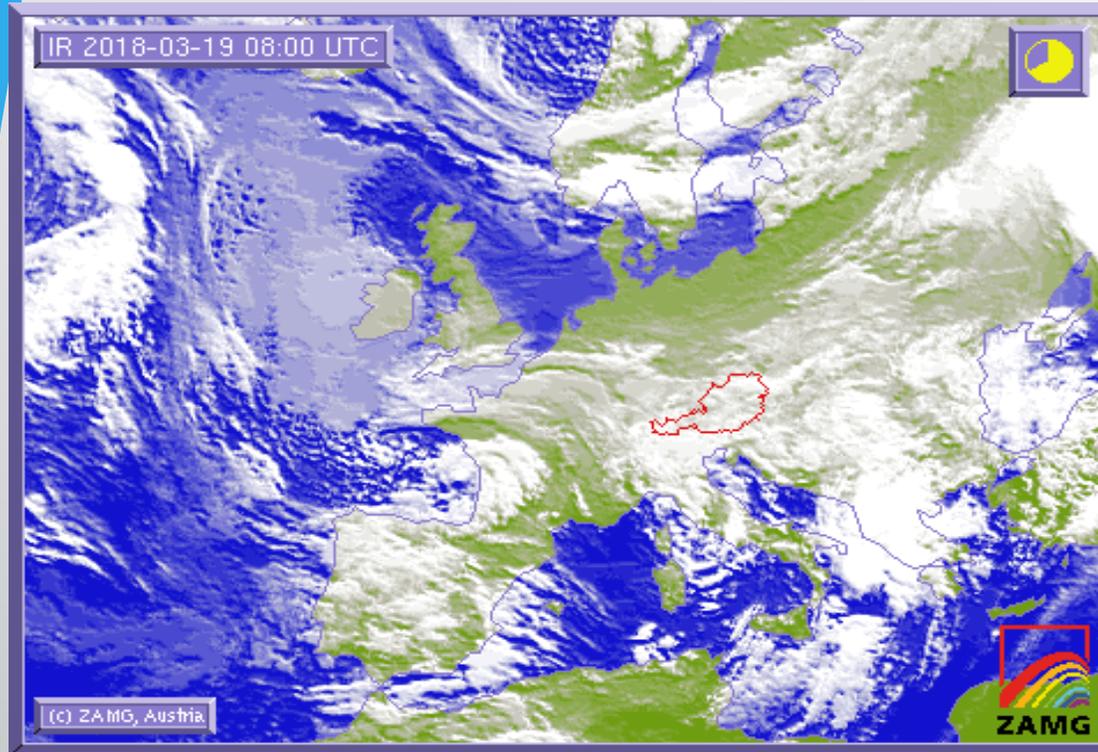


Траектории циклонов, с облачными системами которых связаны зоны осадков с количеством более 3 мм за 12 ч: 1 — северная, 2 — северо-западная, 3 — западная, 4 — юго-западная, 5 — южная

Облачность атлантических циклонов

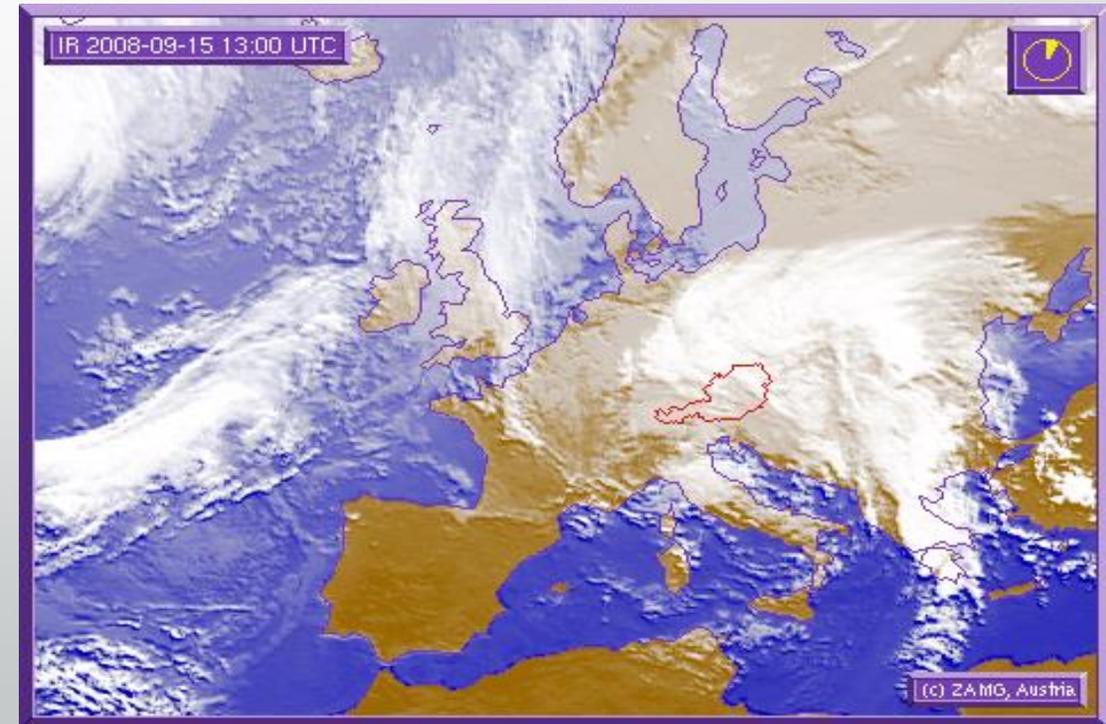


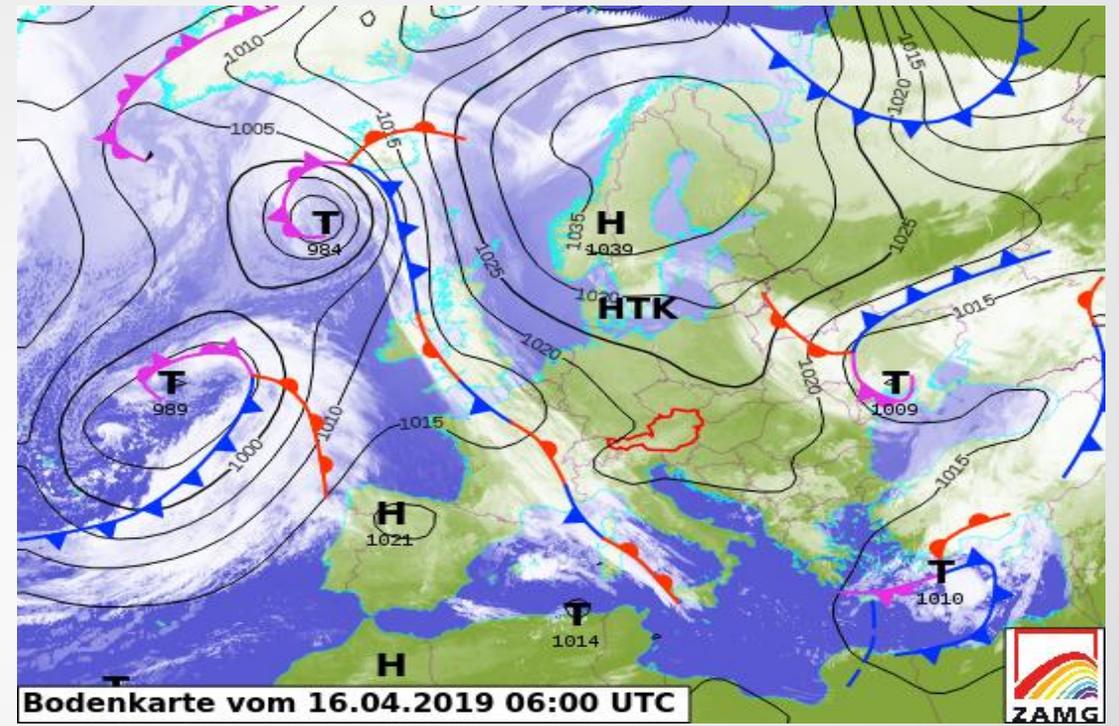
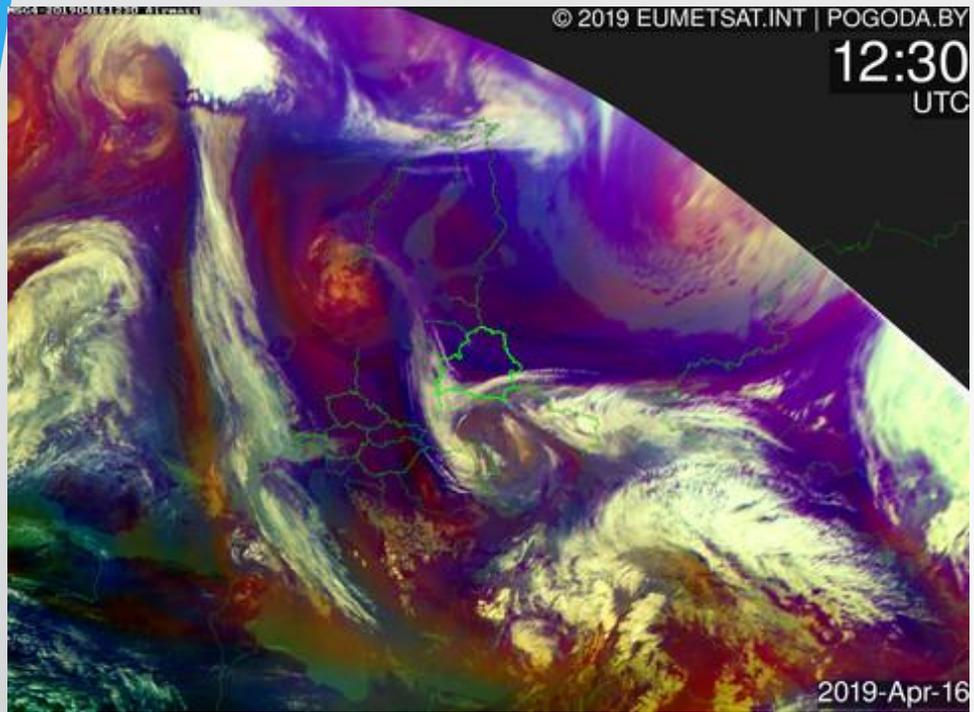
Облачные поля южных (средиземноморских) циклонов



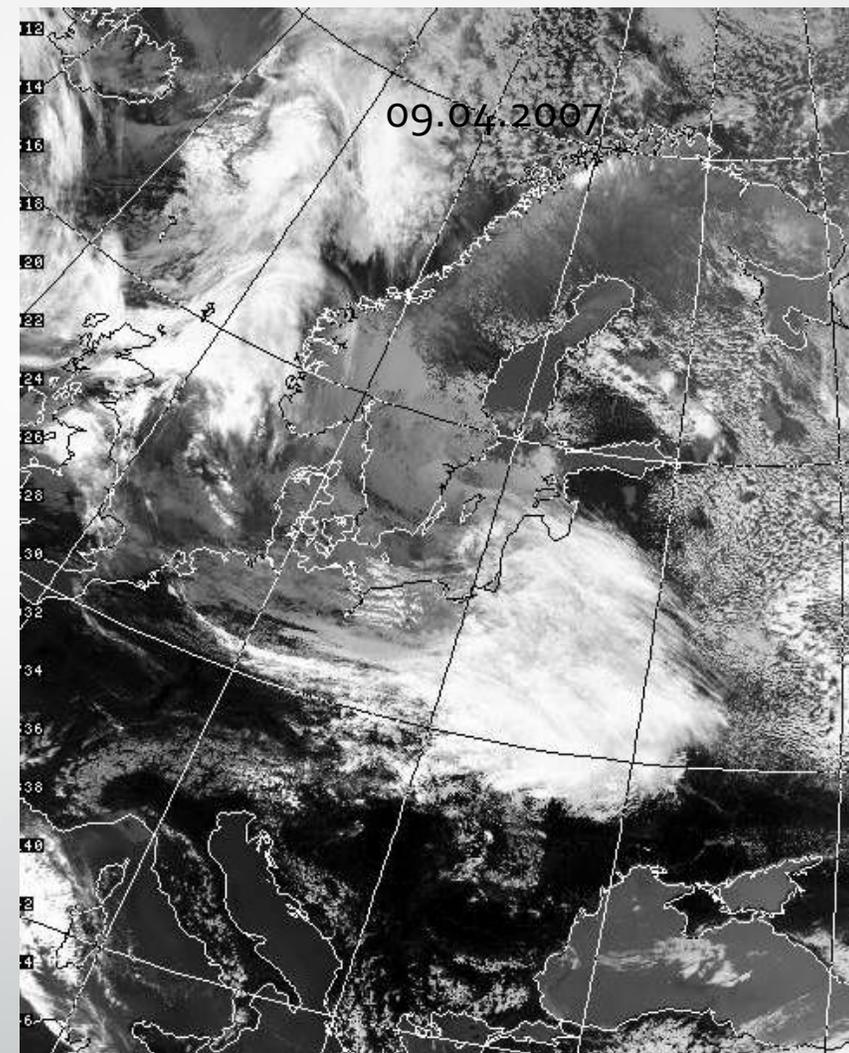
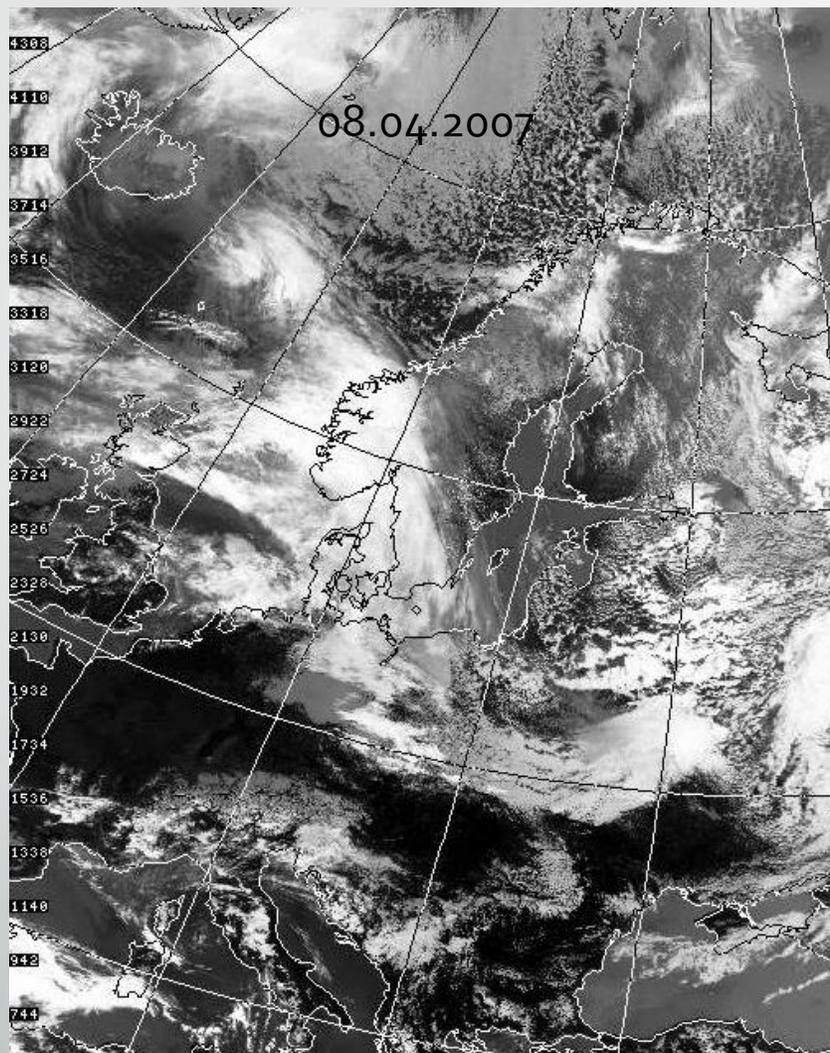
«Облачная шапка» -
образование циклона
над Балканами

Сформировавшаяся
облачность южного
циклона – «булава»





Облачные поля северо-западных (ныряющих) циклонов

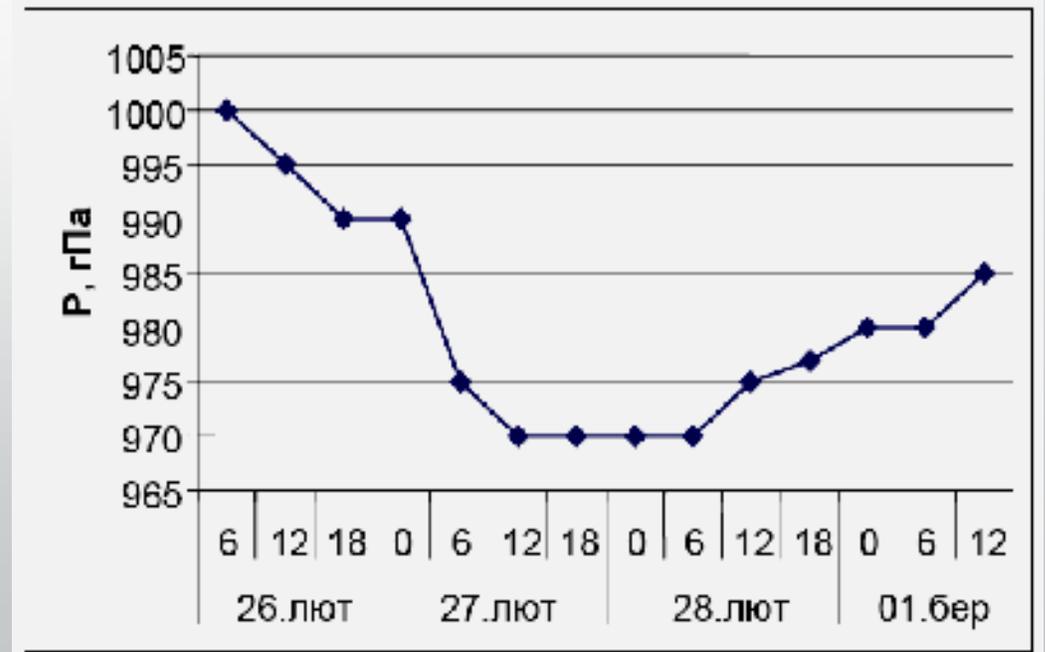


Образование циклона у точки окклюзии в восточной части Норвежского моря

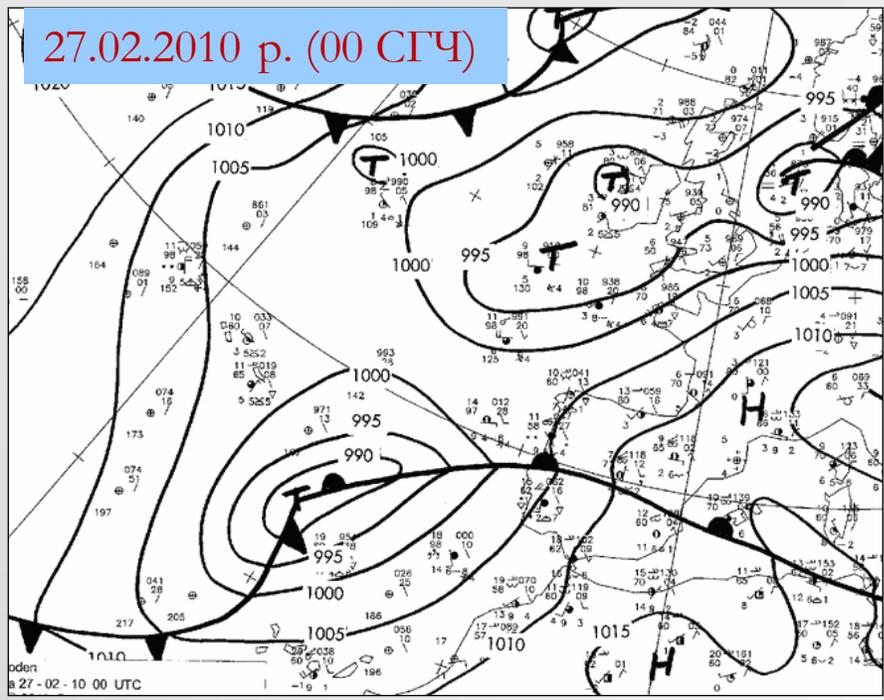
«Взрывной» циклогенез

- Процессы интенсивного циклогенеза, при которых циклон имеет сравнительно небольшие размеры, но при этом интенсивно углубляется, относят к “взрывным циклонам” или “бомбам”.
- Количественной оценкой считается критерий Бержерона: падение давления в центре циклона должно быть не меньше 1 гПа за 1 час (или 24 гПа/сутки).

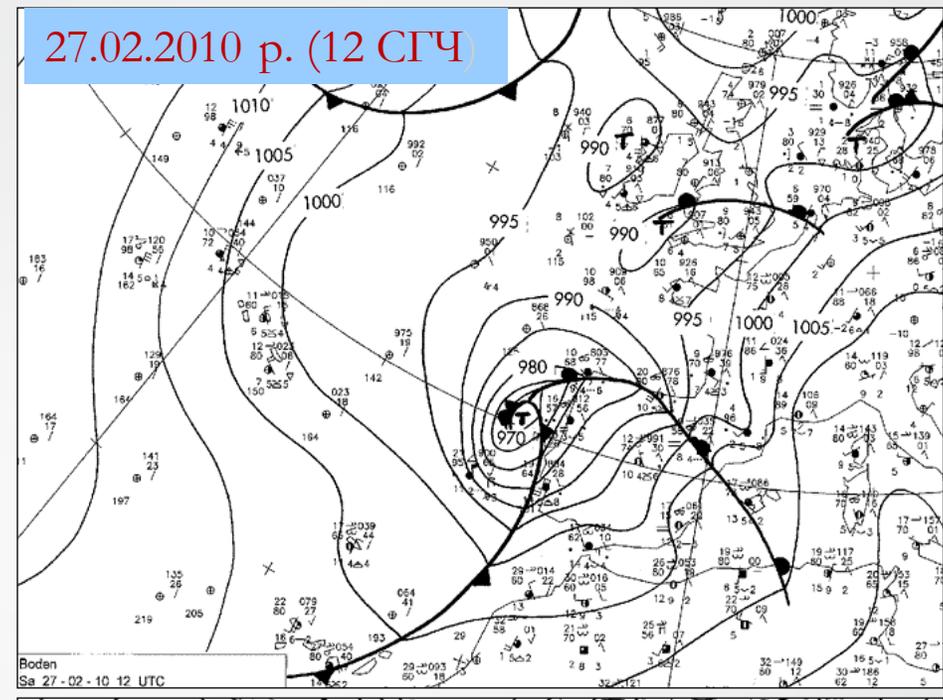
● Пример: Циклон “Ксинтия” 26-27 февраля 2010 года. За сутки давление в центре упало на 25 гПа. Циклон сформировался в Атлантике, прошел через Испанию, Францию, Бельгию и Германию. Скорость ветра в циклоне достигала 228 км/ч, что привело к гибели более 50 человек.



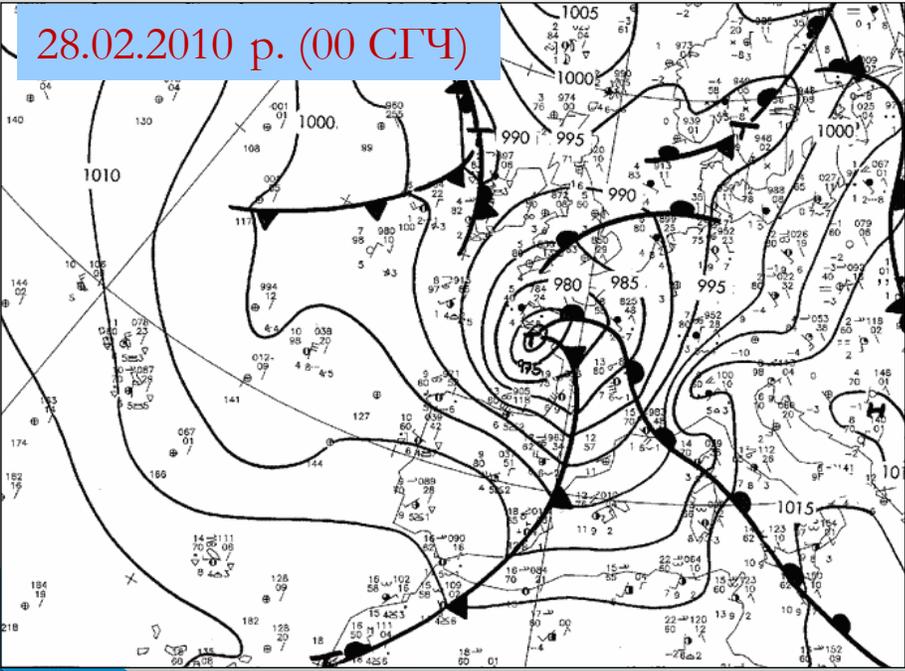
27.02.2010 p. (00 СГЧ)



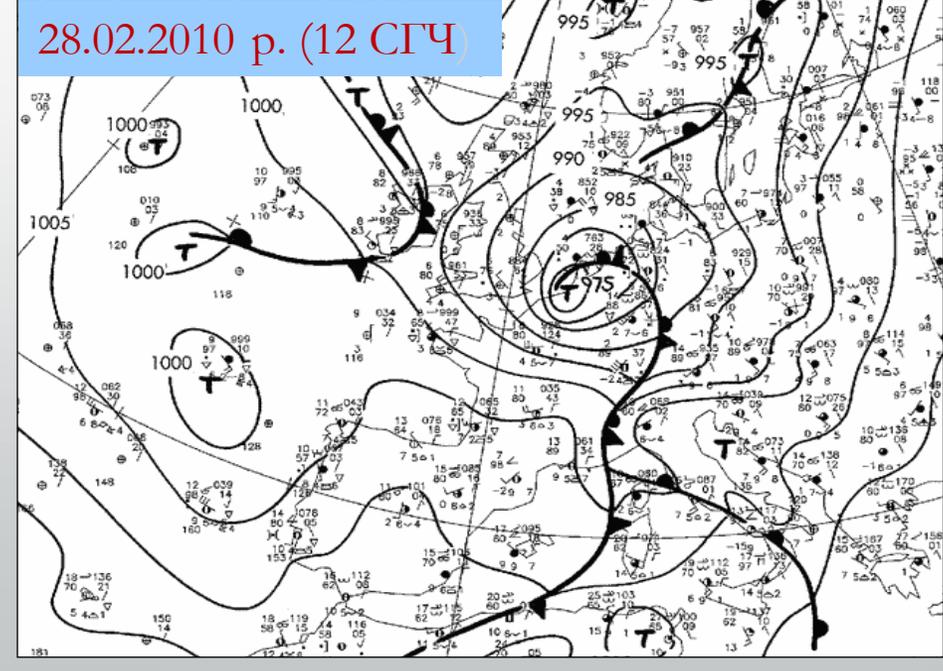
27.02.2010 p. (12 СГЧ)



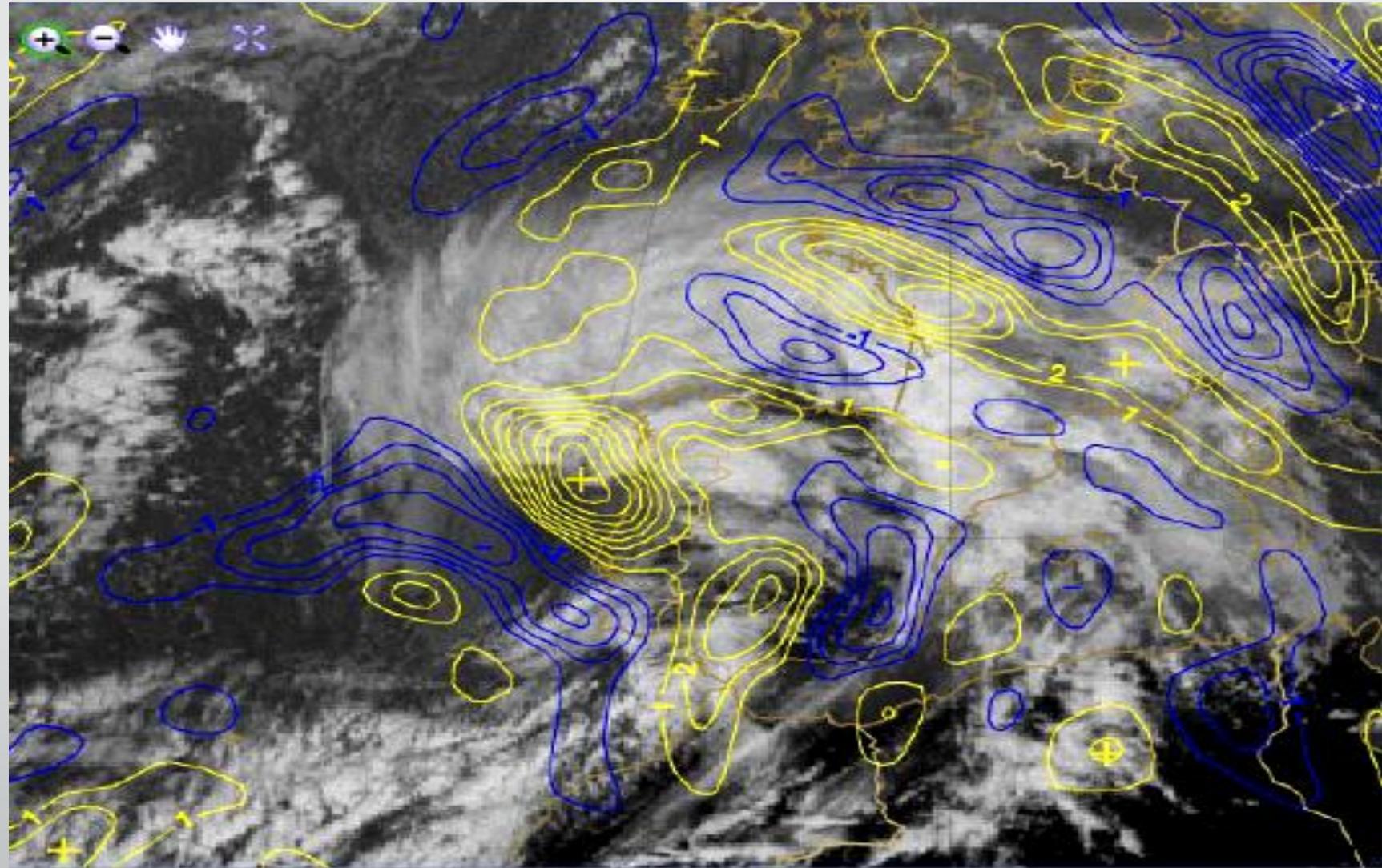
28.02.2010 p. (00 СГЧ)



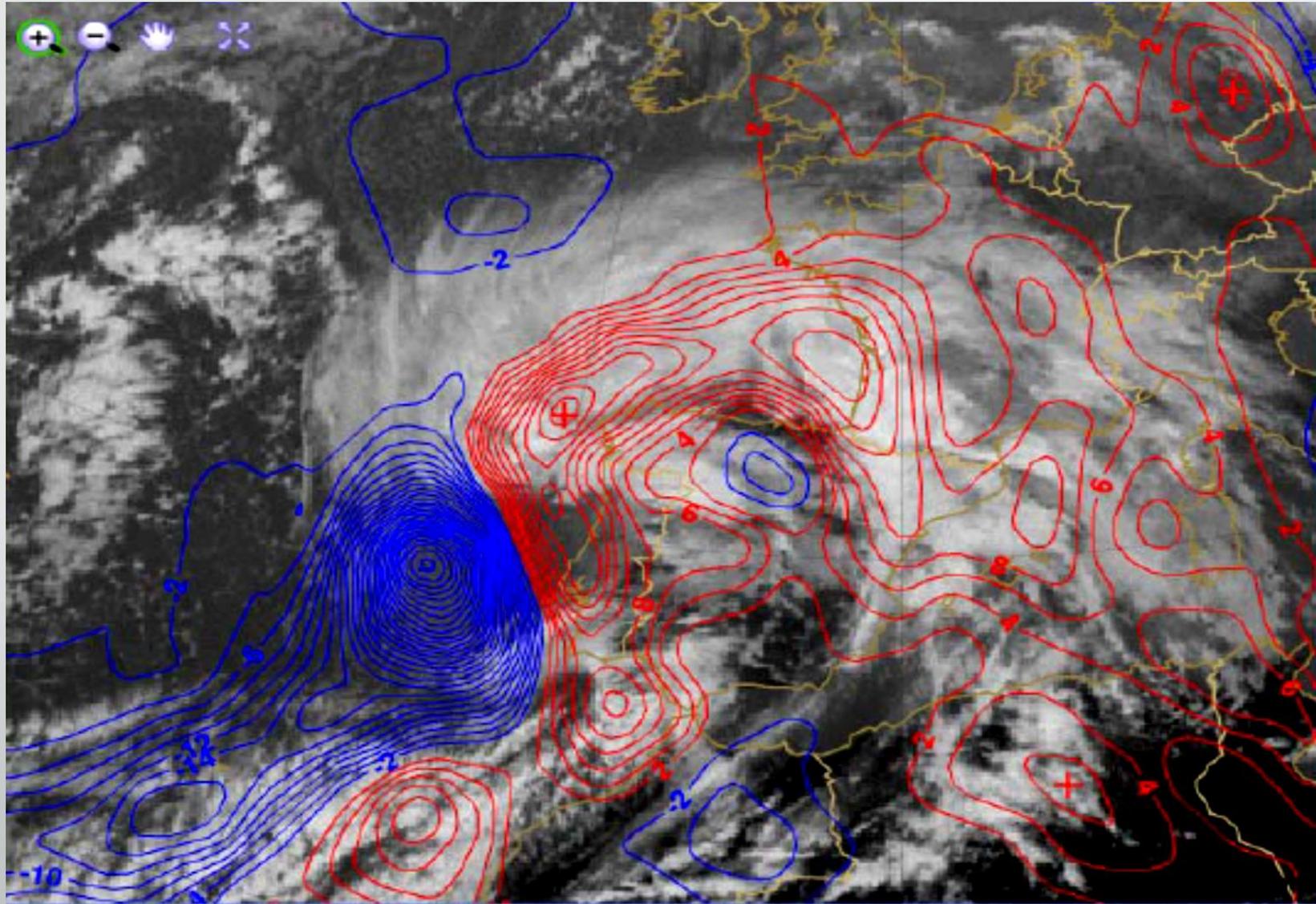
28.02.2010 p. (12 СГЧ)



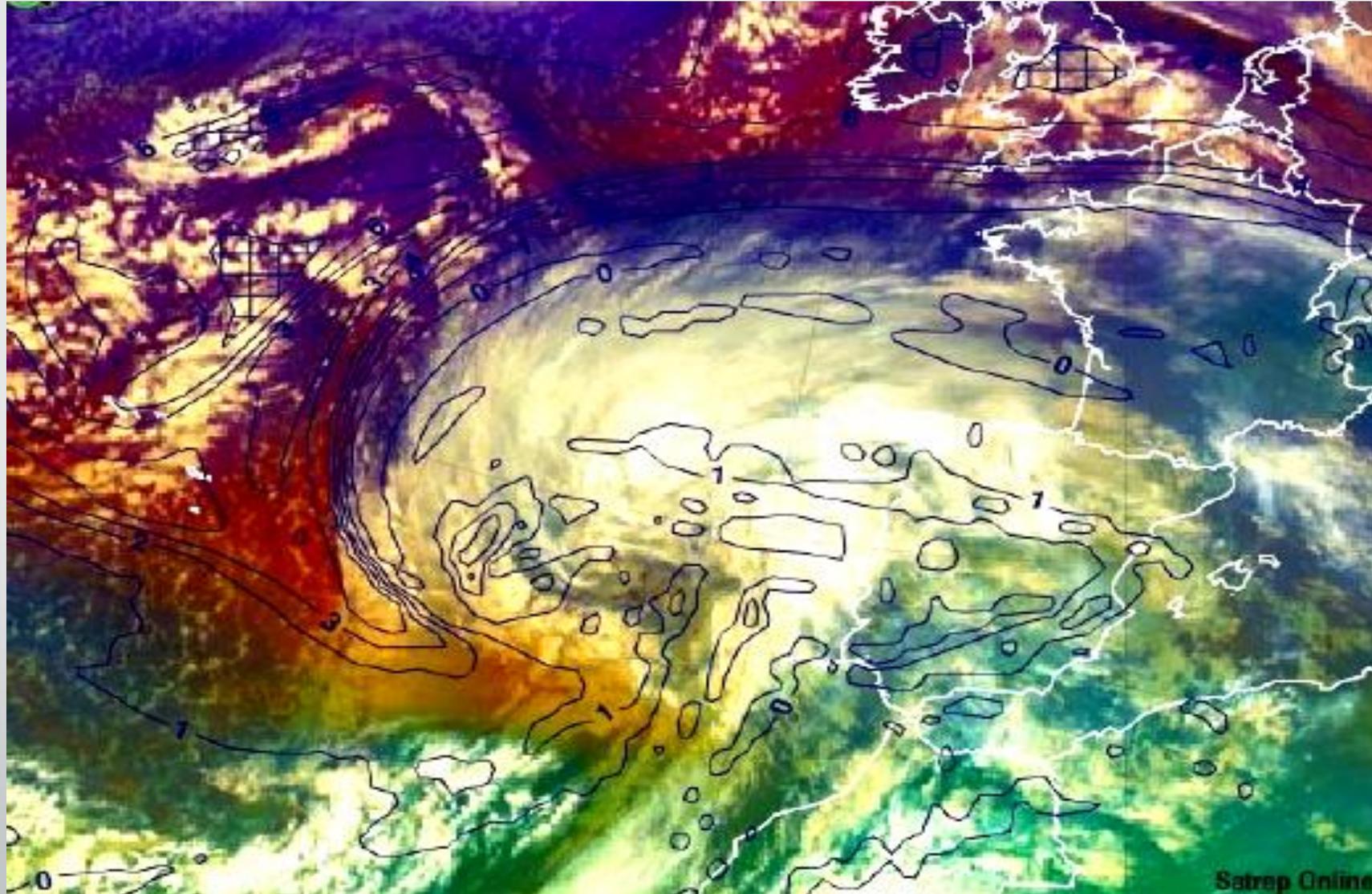
**Адвекция вихря скорости (500 гПа) и ИК-снимок : Циклон «Ксинтия»
27.02.2010 (12 UTC)**



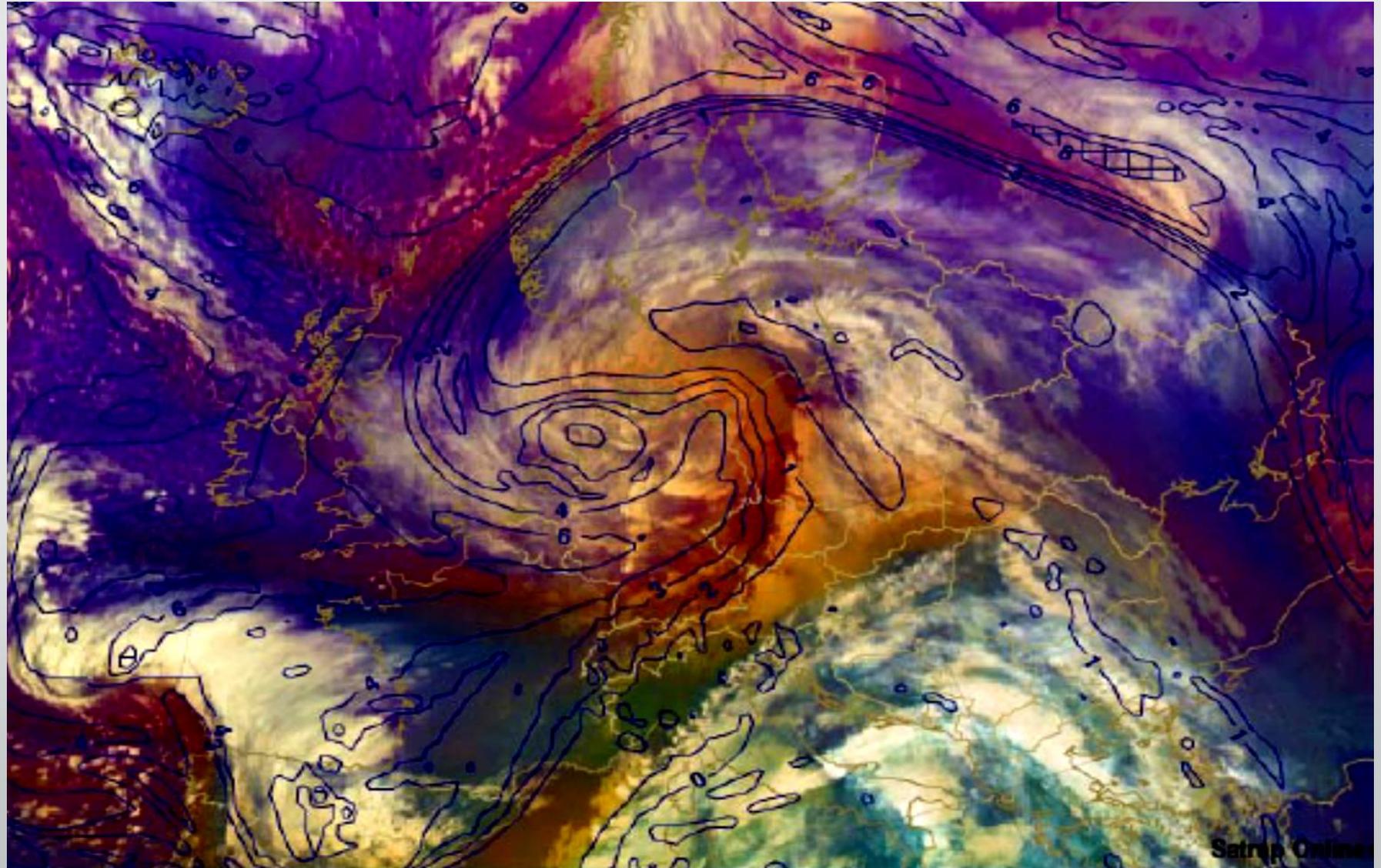
Адвекция температуры (700 гПа) и ИК-снимок: Циклон «Ксинтия» 27.02.2010 (12 UTC)



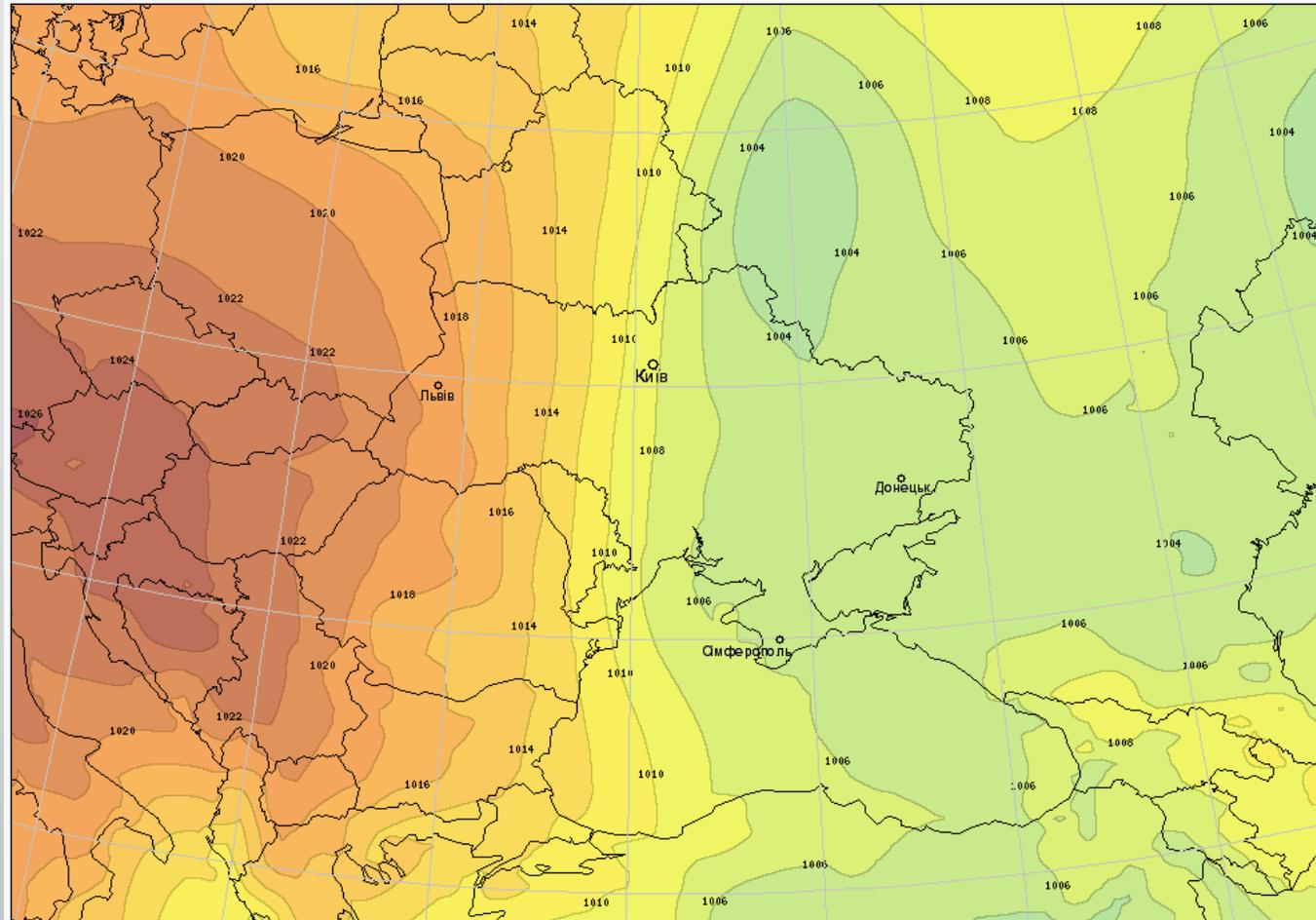
Airmass RGB : Циклон «Ксинтия» 27.02.2010 (06 UTC)
Поле потенциального вихря (Эртеля) на уровне 315 К (PV315К)



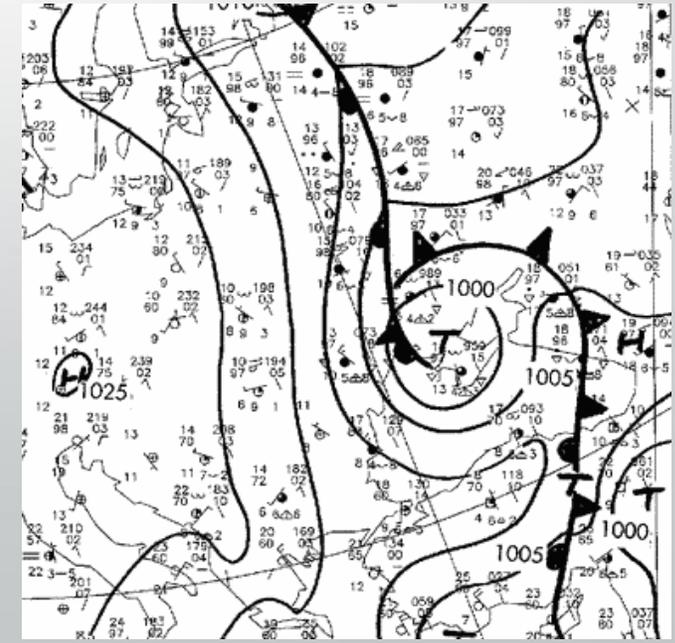
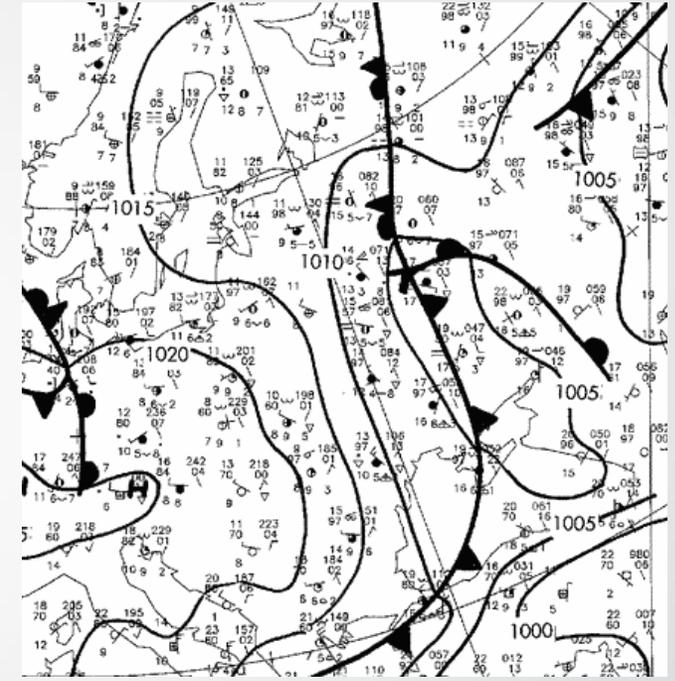
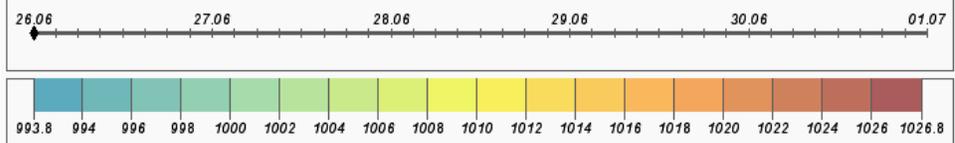
Airmass RGB : Циклон «Ксинтия» 01.03.2010 (00 UTC)
Поле потенциального вихря (Эртеля) на уровне 315 К (PV315К)



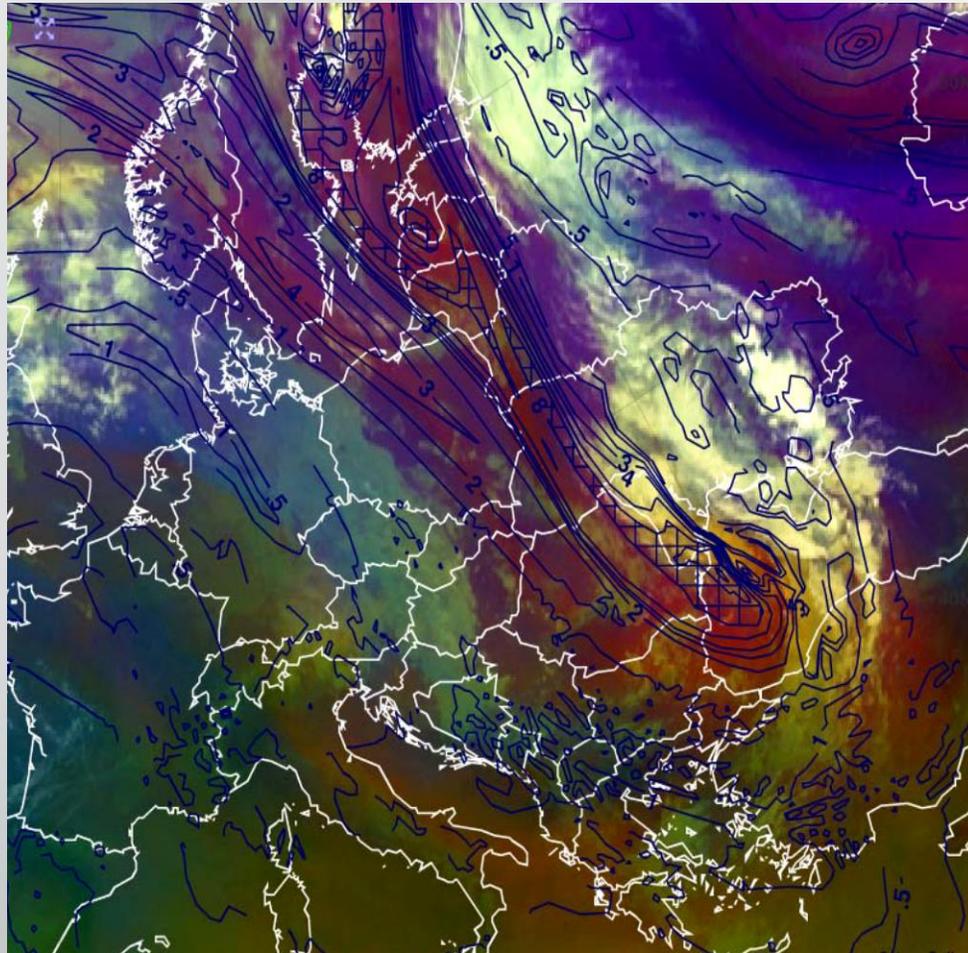
Отсеченный циклогенез над Украиной 26-27.06.2011 г.



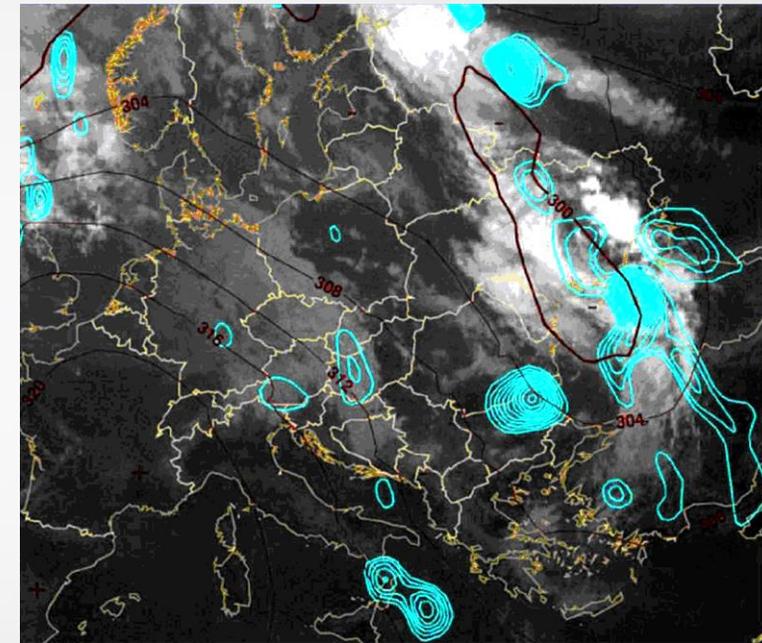
OUTPUT FROM WRF V3.1.1 MODEL
На 26.06.2011 00:00 (UTC)
Приведенный атм. тиск, гПа



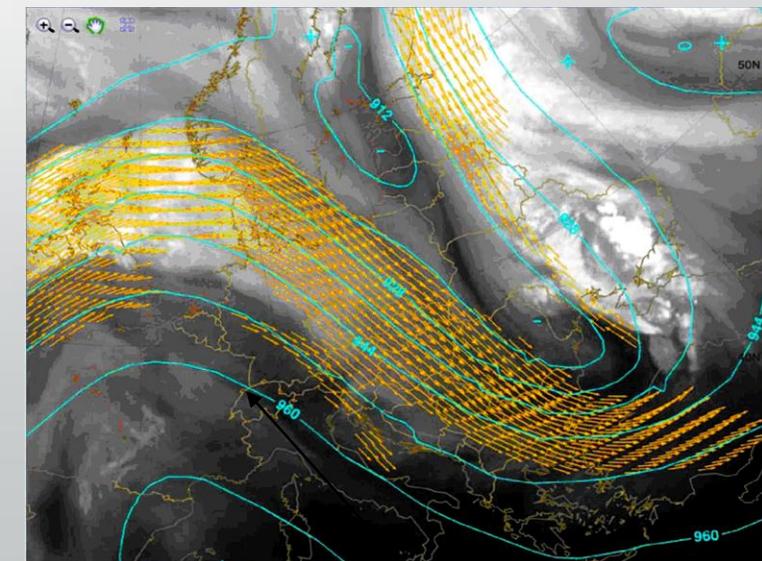
Циклогенез 26.06.2011 г. на спутниковых снимках



Airmass RGB + PV 315K



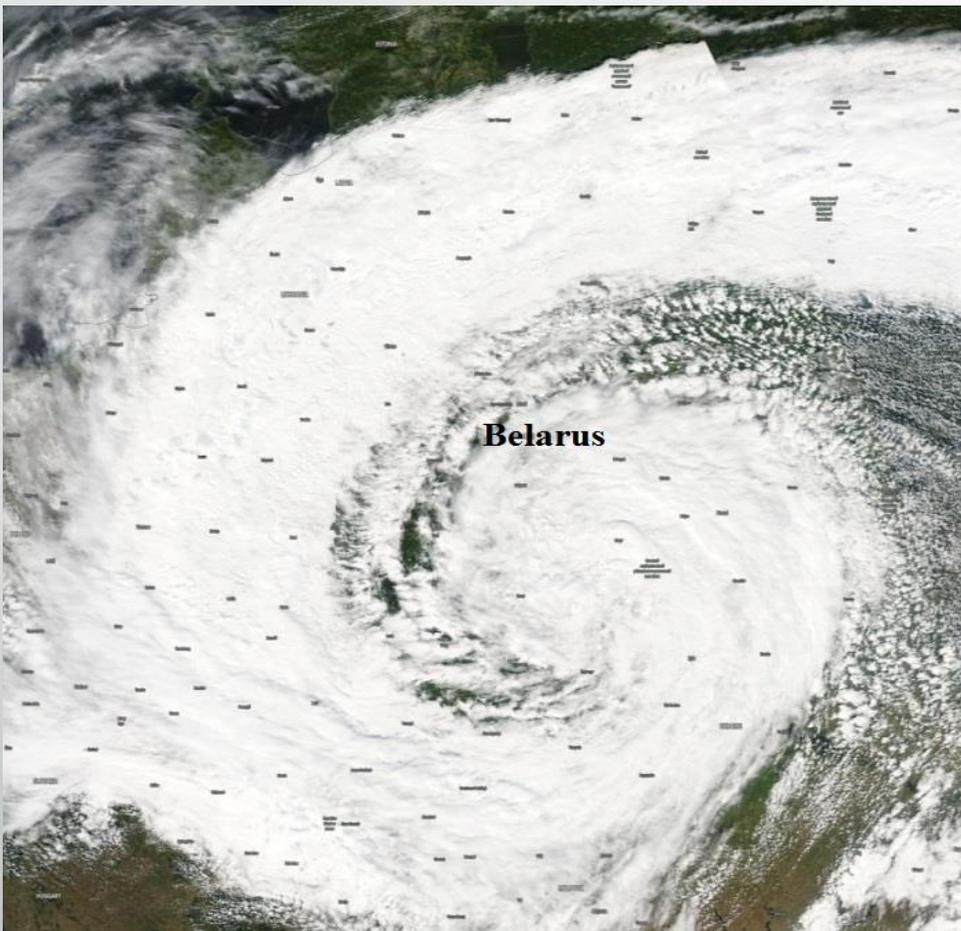
ИК+ τ 700 гПа



ВП+300 гПа

Моделирование и распознавание облачности

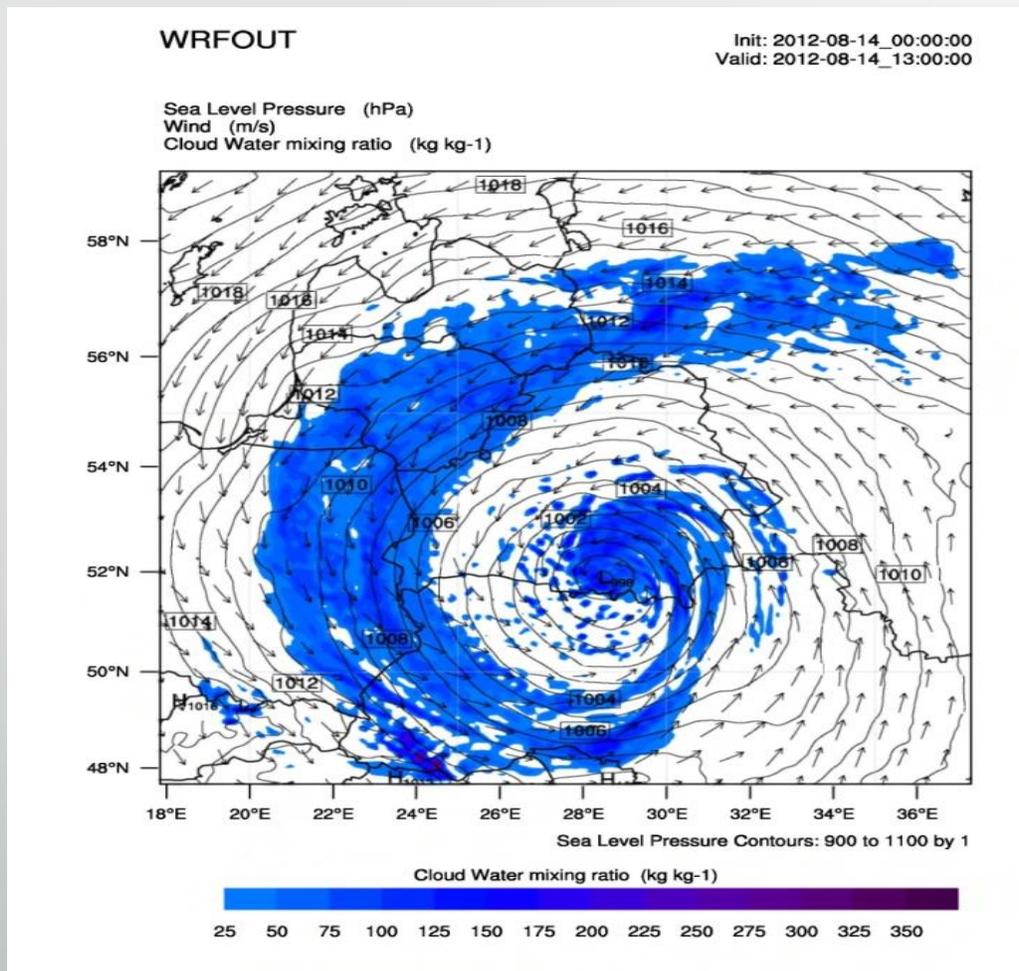
Предварительное распознавание грозового облака на дату 14 августа 2012 года



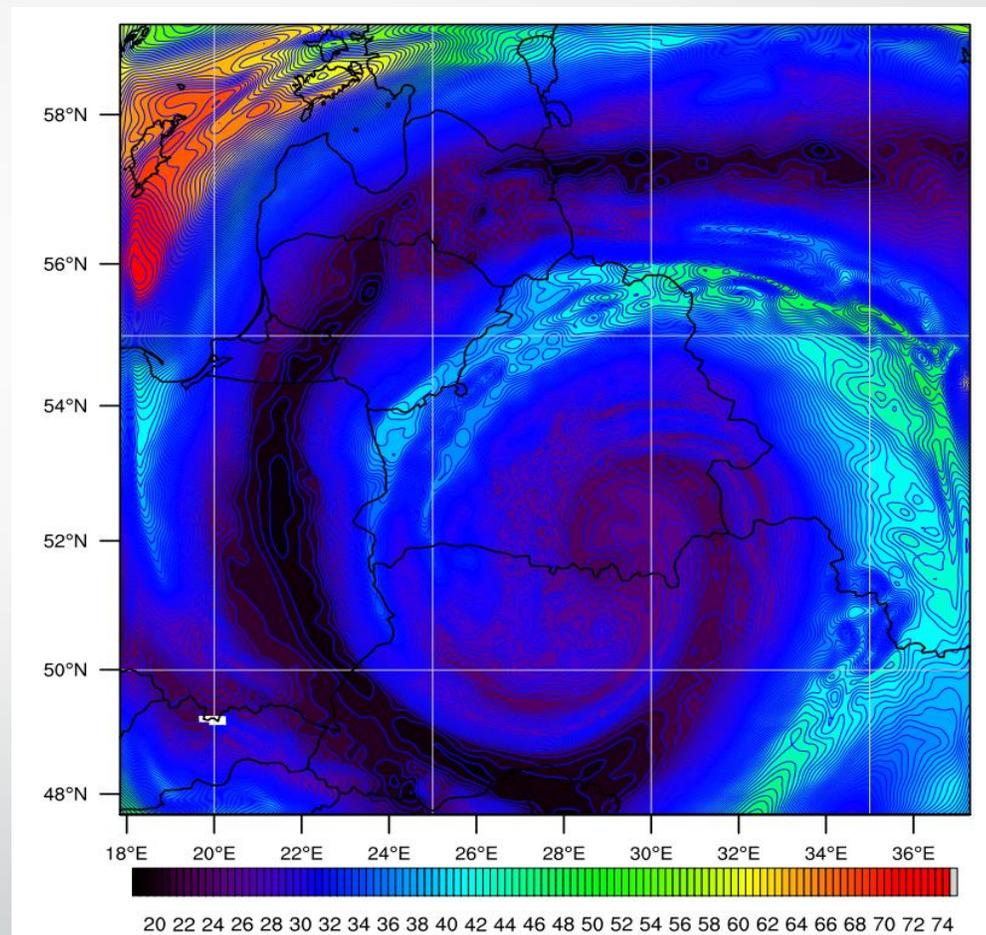
Спутниковый снимок с сервиса NASA GIBS AIP

Спутниковые снимки облачности на выбранную дату были получены с сервиса NASA Global Imagery Browse Services Available Imagery Products с разрешением 500м на 1 пиксель.

Расчёт грозовых облаков в системе WRF

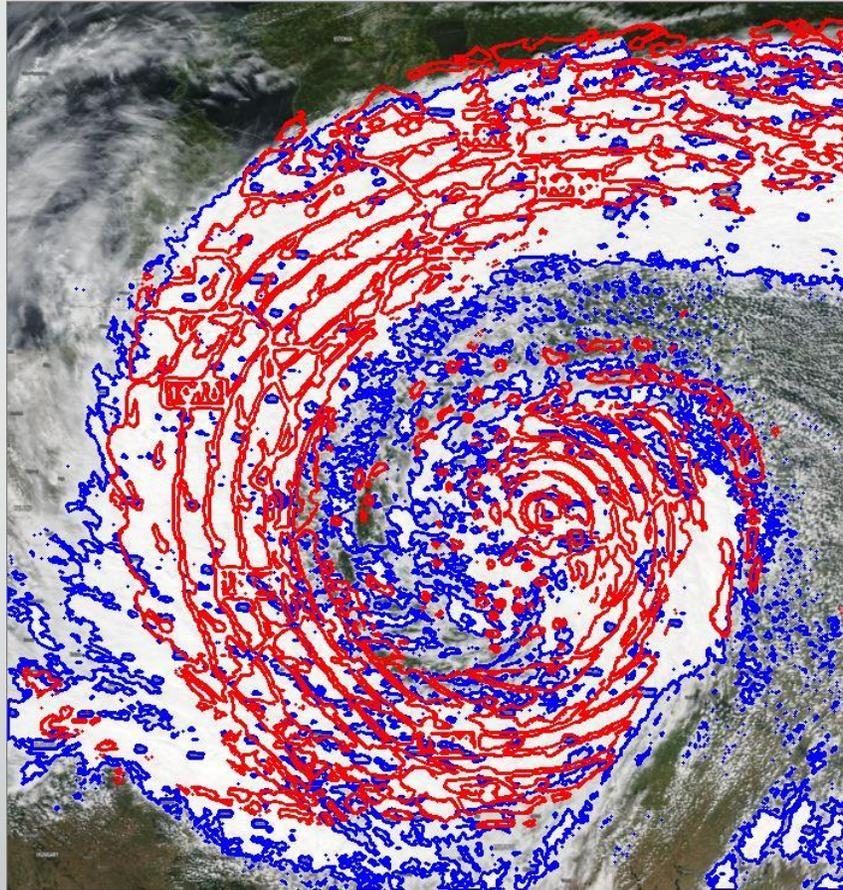


Модельный расчёт облачности

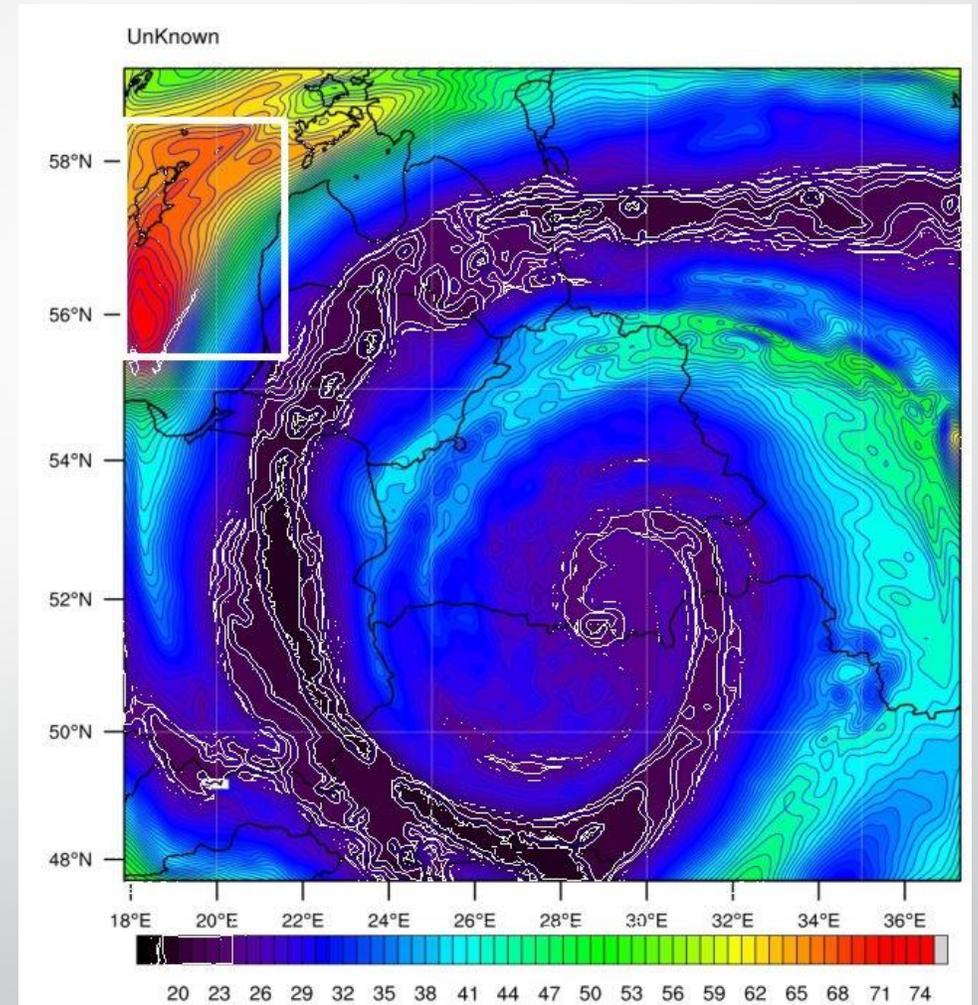


Расчёт коэффициента грозы (неустойчивости) 14.08.2012

Выделение контура и области облачности. Сопоставление с модельными расчетами



Выделение контура облачности со спутника(синий) и наложение контура облачности рассчитанной WRF(красный)



Выделение "скелета" грозового облака (белый) и области с высокой вероятностью грозы



Спасибо за внимание!

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко

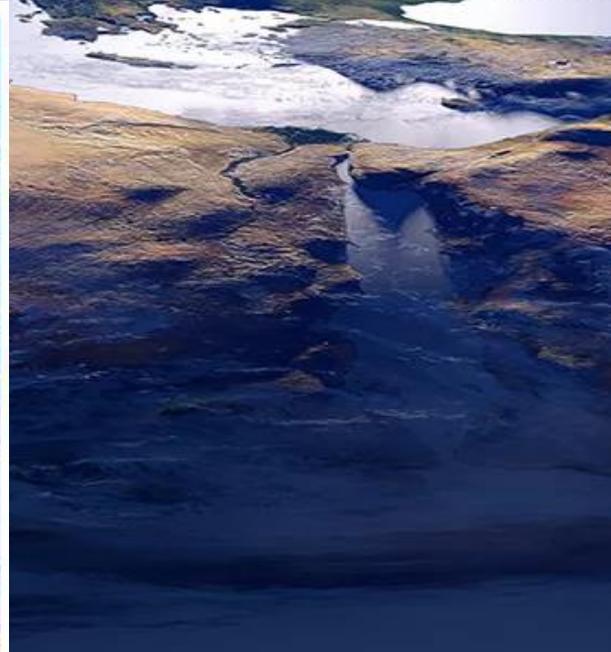
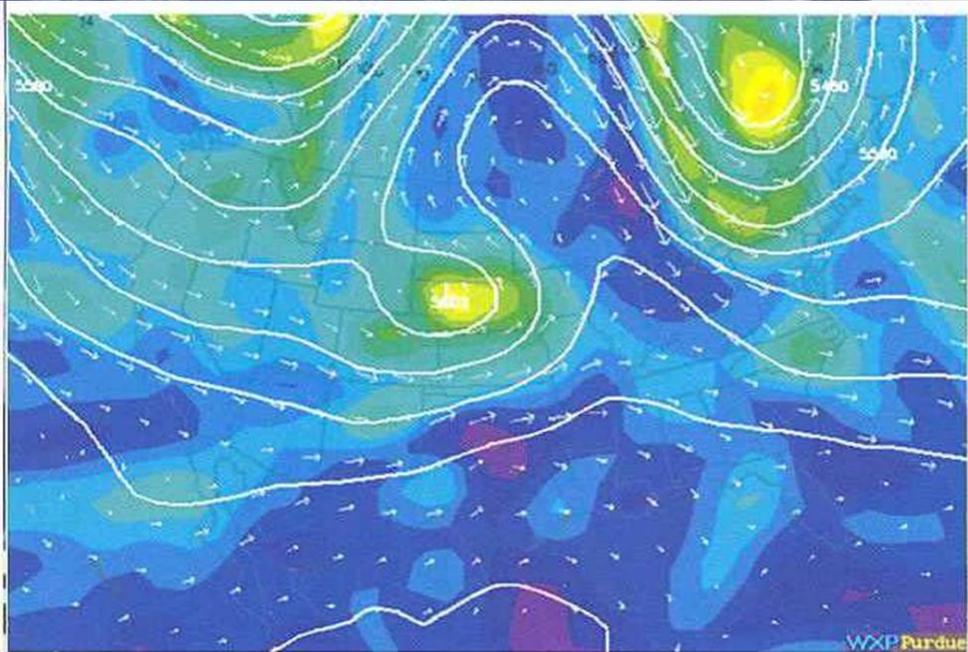


ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 4. ВИДЫ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ.
МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ
РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

- В моделях погоды используется огромное количество математических уравнений, необходимых для вычисления возможного поведения атмосферы и океанов. Одни из них описывают воздушные потоки, другие — образование, движение и исчезновение облаков всех типов и вероятность выпадения дождя, снега или града. В уравнениях должно учитываться множество переменных, которые влияют на формирование погоды. Только с помощью компьютерного моделирования циркуляции всей атмосферы Земли с учетом всех остальных (оптических, аэрозольных, химических и т. д.) процессов, влияющих на нее, можно решить задачи моделирования климата и прогноза погоды.
- * **Раскрашенная атмосфера.** Комбинация ярких цветов, линий и стрелок позволяет показать на карте одновременно несколько параметров погоды. Это дает возможность синоптикам увидеть сочетание и взаимовлияние различных факторов.
- * **Помощь электроники.** При моделировании процессов, происходящих в атмосфере, необходимо произвести невероятное количество расчетов. Для этого синоптикам нужны самые мощные и быстродействующие вычислительные машины. Такие суперкомпьютеры используются в мировых метеорологических центрах.



Модели атмосферы

Спектральные и конечно-разностные – по методу решения уравнений

Глобальные, региональные, мезомасштабные - по пространственному масштабу

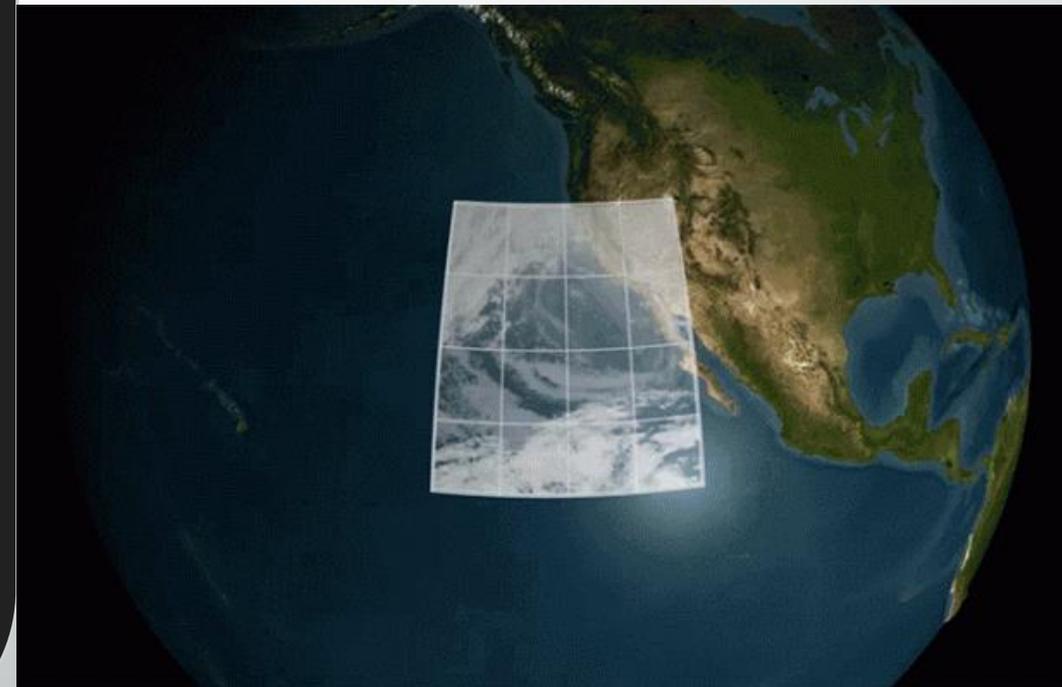
Краткосрочного, среднесрочного, долгосрочного прогноза погоды, климата – по временному масштабу



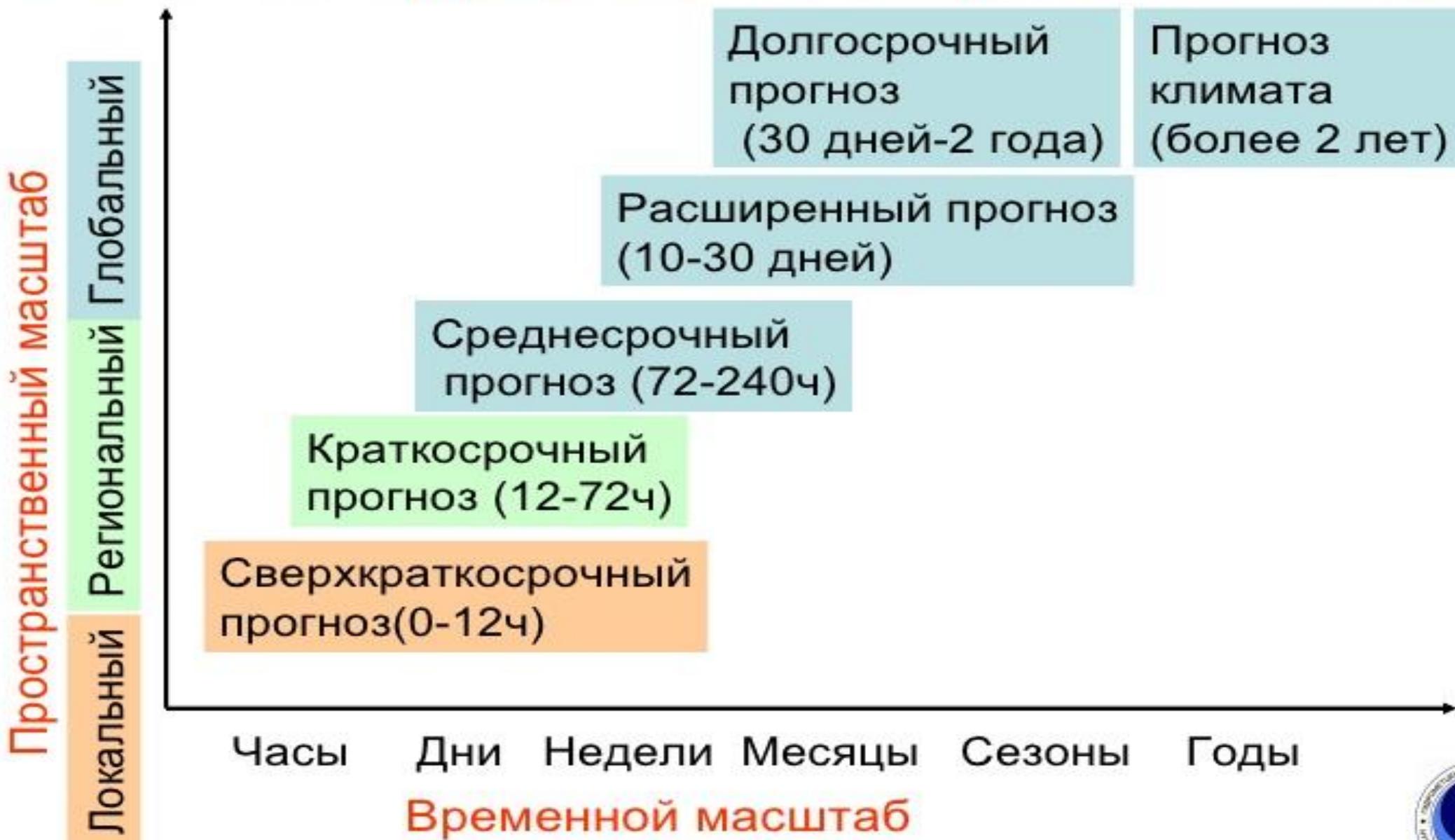
ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ

Численный прогноз погоды использует компьютерную математическую модель атмосферы для составления прогноза погоды. Хотя первые попытки использовать математические модели для прогнозирования погоды были сделаны в 20-х годах XX века, только с изобретением компьютера и компьютерного моделирования стало возможным осуществлять его в режиме реального времени. Данный процесс связан с обработкой огромного набора данных и выполнением сложных вычислений и может быть полноценно осуществлен только на мощных суперкомпьютерах.

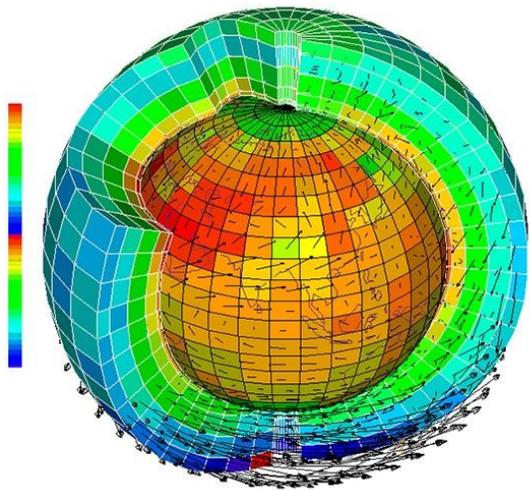
В основе моделей лежат математические уравнения, описывающие аэро- и термодинамические процессы в атмосфере и связывающие такие параметры как плотность, скорость, давление и температуру. Эти уравнения являются нелинейными и не имеют точного решения, поэтому для их решения используются численные методы. Исходные уравнения дискретизируются во времени и пространстве и превращаются в систему линейных уравнений, связывающую наборы физических параметров в выбранных точках (узлах вычислительной сетки). Чем больше используется точек для расчета, тем выше точность модели, но и тем выше требования к вычислительным мощностям ЭВМ. В качестве исходных данных для моделей используются данные метеозондов, метеоспутников и наземных метеостанций.



Численное моделирование процессов в атмосфере



ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ



ОБСЧИТЫВАЮТ ВСЮ АТМОСФЕРУ
ЗЕМЛИ ИЛИ ПОЛУШАРИЯ

САМЫЕ ПОПУЛЯРНЫЕ:

GFS

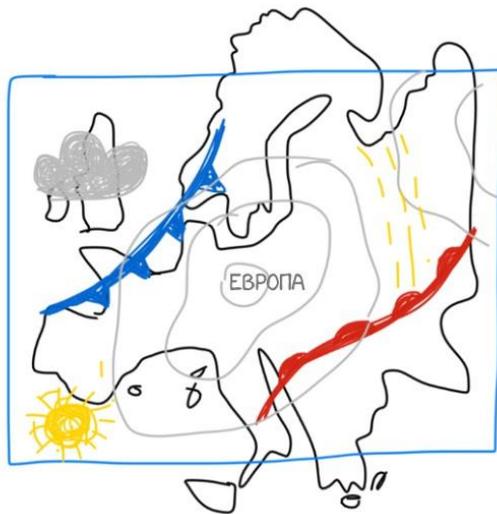
(АМЕРИКАНСКАЯ)

ECMWF

(ЕВРОПЕЙСКАЯ)

У МНОГИХ КРУПНЫХ СТРАН ЕСТЬ СВОИ

ЛОКАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

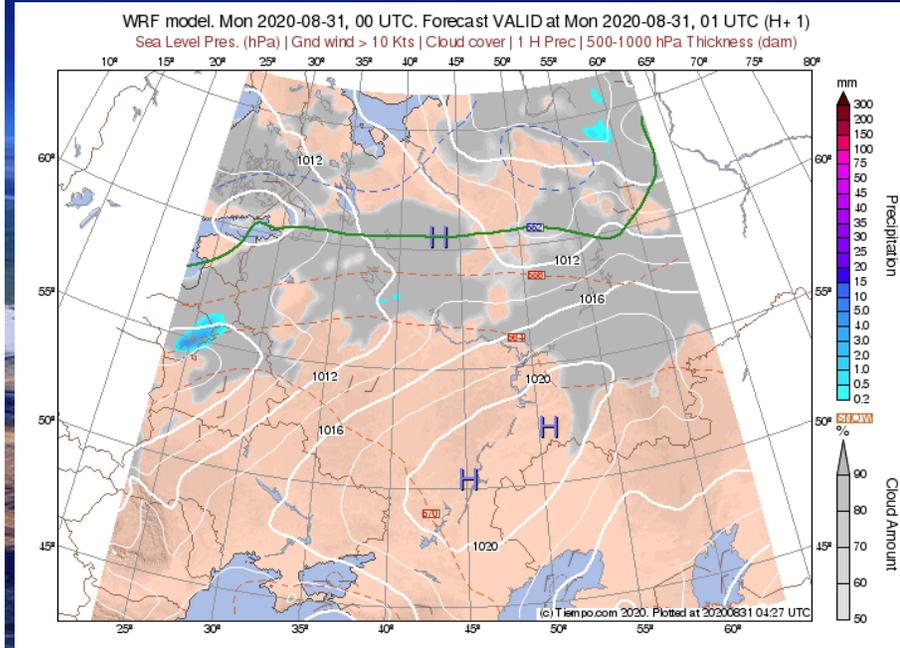


МОДЕЛИРУЮТ ОТДЕЛЬНУЮ ОБЛАСТЬ,
СТРАНУ ИЛИ ГОРОД С ВЫСОКОЙ
ТОЧНОСТЬЮ

САМАЯ ПОПУЛЯРНАЯ:

WRF

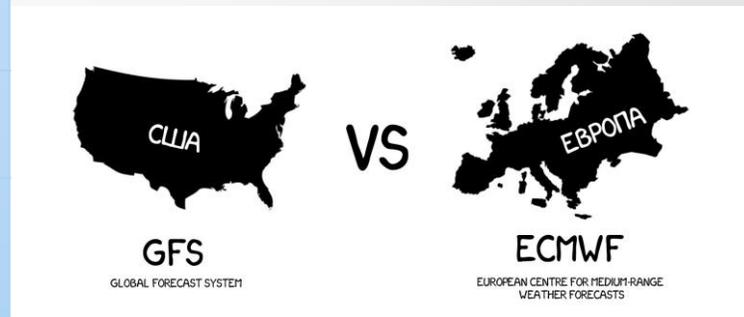
ОТКРЫТА И ПРОСТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ



- **Глобальные модели: GFS vs ECMWF**

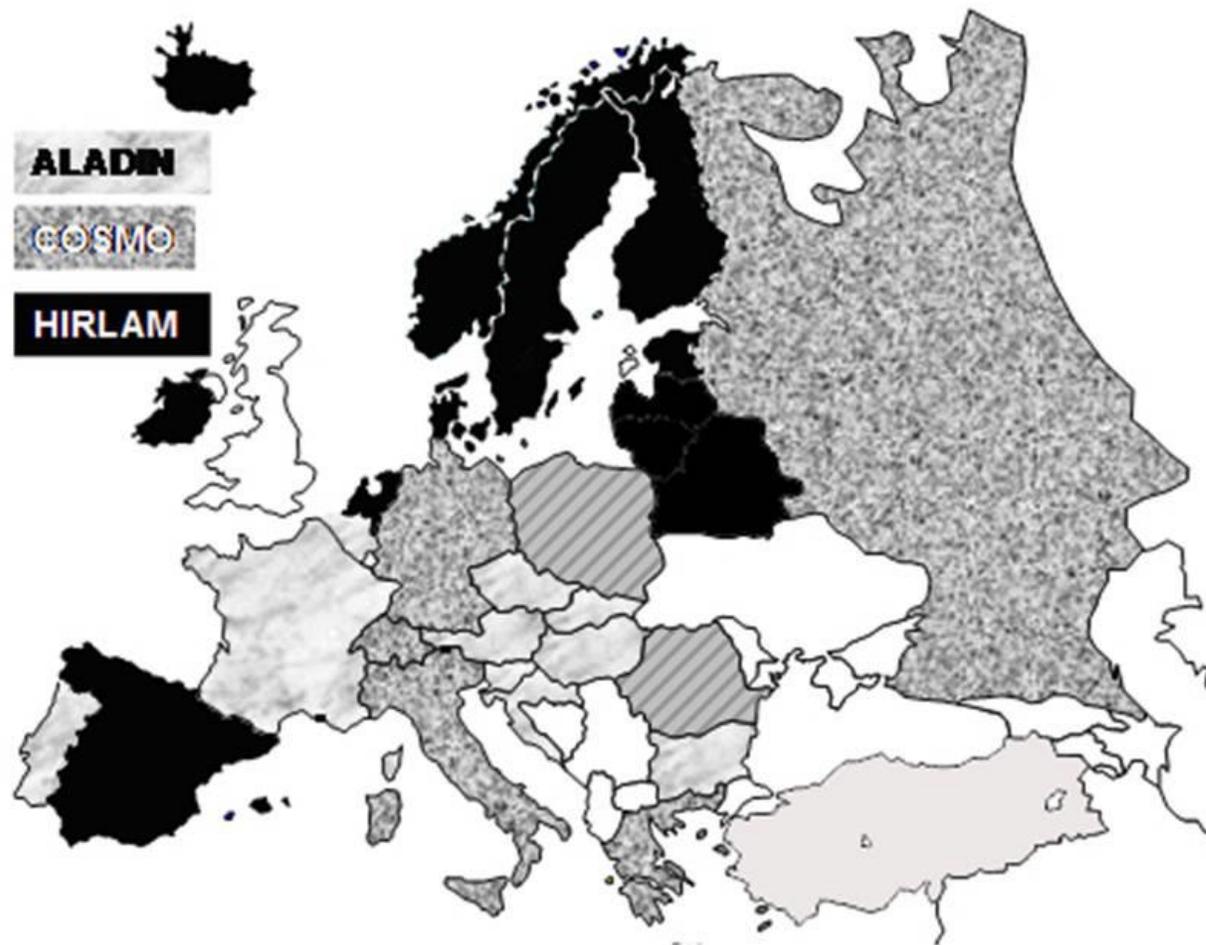
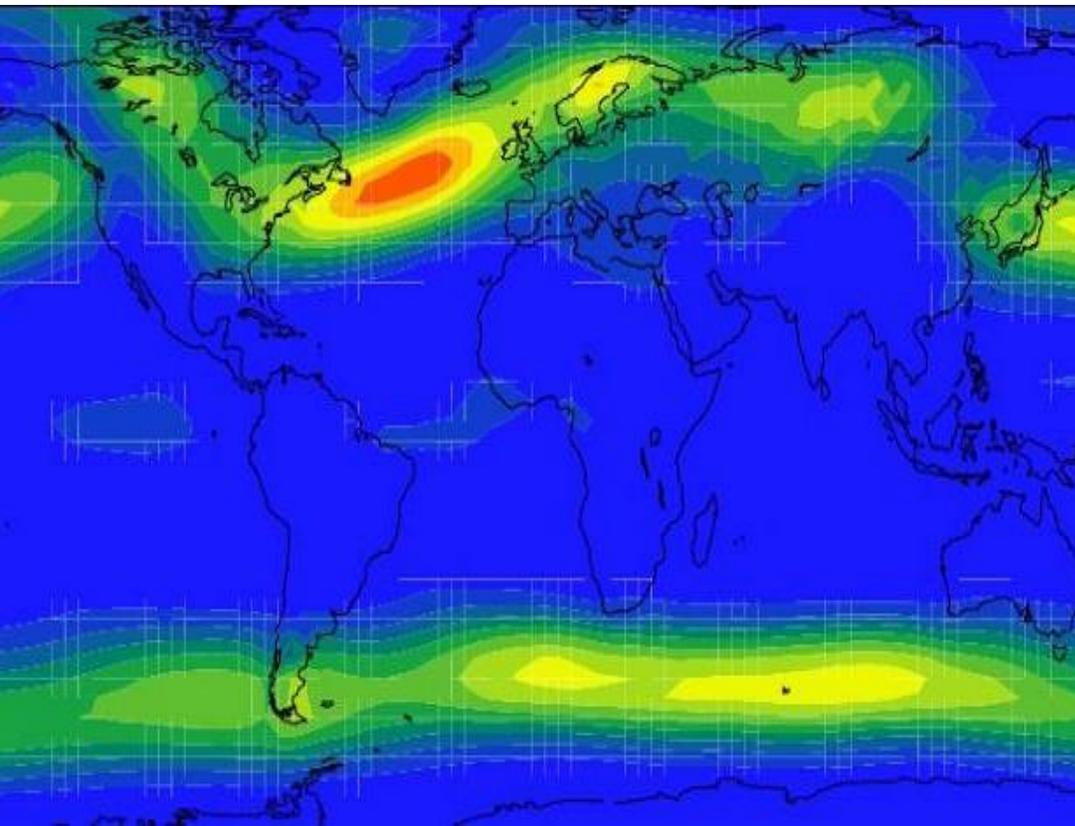
Обе модели моделируют атмосферу всего земного шара и предсказывают как она будет изменяться со временем, но европейская ECMWF считается лучше американской GFS.

GFS	ECMWF
Американская Год основания найти не удалось, но она старше европейской.	Европейская Создана в 1975 году, первые прогнозы в 1979.
Бесплатно раздаёт все данные Любой может скачать их на официальном сайте.	Доступ только своим За файлы с данными нужно платить около \$150000 в год.
Прогнозы по 8, 16, 30+ дней Легко понять чей перед вами прогноз можно просто посмотрев на количество дней. Часто сайты так их и отображают.	Прогнозы по 10, 15, 30+ дней Прогноз на три дня или неделю есть у всех, а вот если дальше идет прогноз на 15 дней — перед вами точно ECMWF.
Запускается 4 раза в день, считает 3 часа Запускается в 0, 6, 12 и 18 часов по UTC. Результаты публикует спустя 3.5 часа. Так как запускается чаще, может быстрее корректировать свои ошибки.	Запускается 2 раза в день, считает 6 часов Запускается в 0 и 12 часов по UTC. Но из-за своей сложности, считает прогноз целых 6 часов. Как раз к утренним новостям.
Шаг 0.5 градуса (~50 км) Каждая модель делит земной шар на сетку. Чем меньше в ней клеточки — тем точнее прогноз, но тем сложнее его считать.	Шаг 0.25 градусов (~25 км) Даже такая точность не всегда достаточна для больших городов. Тут и приходят на помощь локальные модели.
Лучше моделирует тропики Американцам жизненно важно предугадывать тропические шторма.	Лучше для средних широт Европейцам, очевидно, важнее что происходит внутри континента.
Windguru Популярный сайт windguru.cz отображает результаты именно по американской модели. Его любят всякие кайтеры и сёрферы.	Fogesa Гисметео, Yahoo, Яндекс (раньше) и другие популярные ресурсы берут данные Fogesa, которая работает на европейской модели.

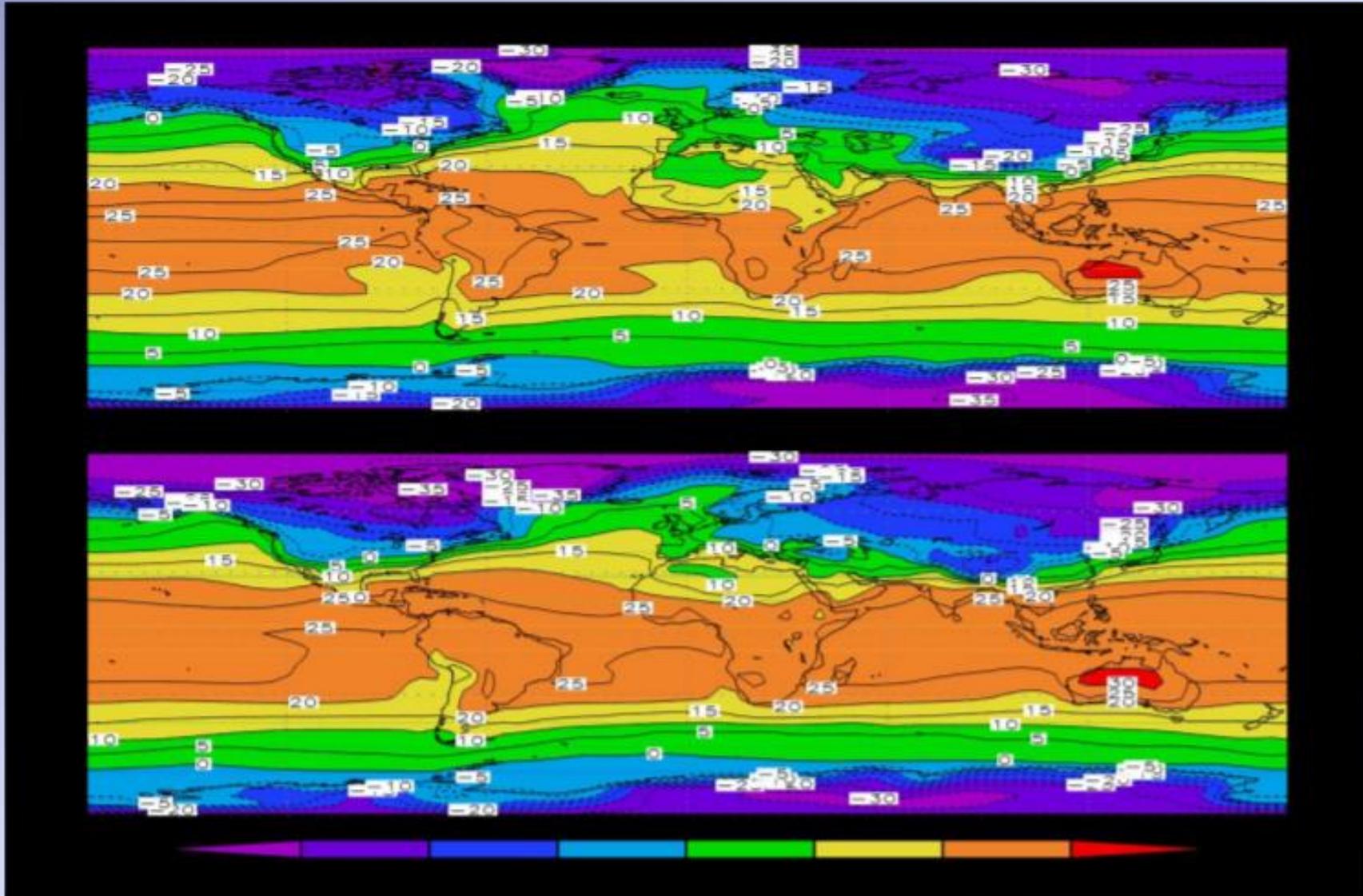


В настоящее время в Европе метеослужбы разделились на несколько групп для эксплуатации и усовершенствования оперативных систем мезомасштабного прогноза погоды:

- **ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational)** – основой являются разработки метеослужбы Франции; внутри группы ALADIN страны центральной Европы (Австрия, Венгрия, Румыния, Словакия, Словения, Чешская республика, Хорватия) создали подгруппу LACE (Limited Area modelling in Central Europe) с региональным центром в Праге;
- **COSMO (COnsortium for Small-scale MOdelling)** – основой являются разработки метеослужбы Германии;
- **HIRLAM (High Resolution Limited Area Model)** – основой являются совместные разработки метеослужб скандинавских стран и Испании, при этом с самого начала создания этой группы Франция принимает участие на уровне научных разработок.



Приповерхностная температура воздуха зимой: модель (верх) и наблюдения (низ)



Пример
расчета с
применением
средств
численного
анализа



Спасибо за внимание!

Александр Георгиевич Светашев;
Наталья Васильевна Дорожко

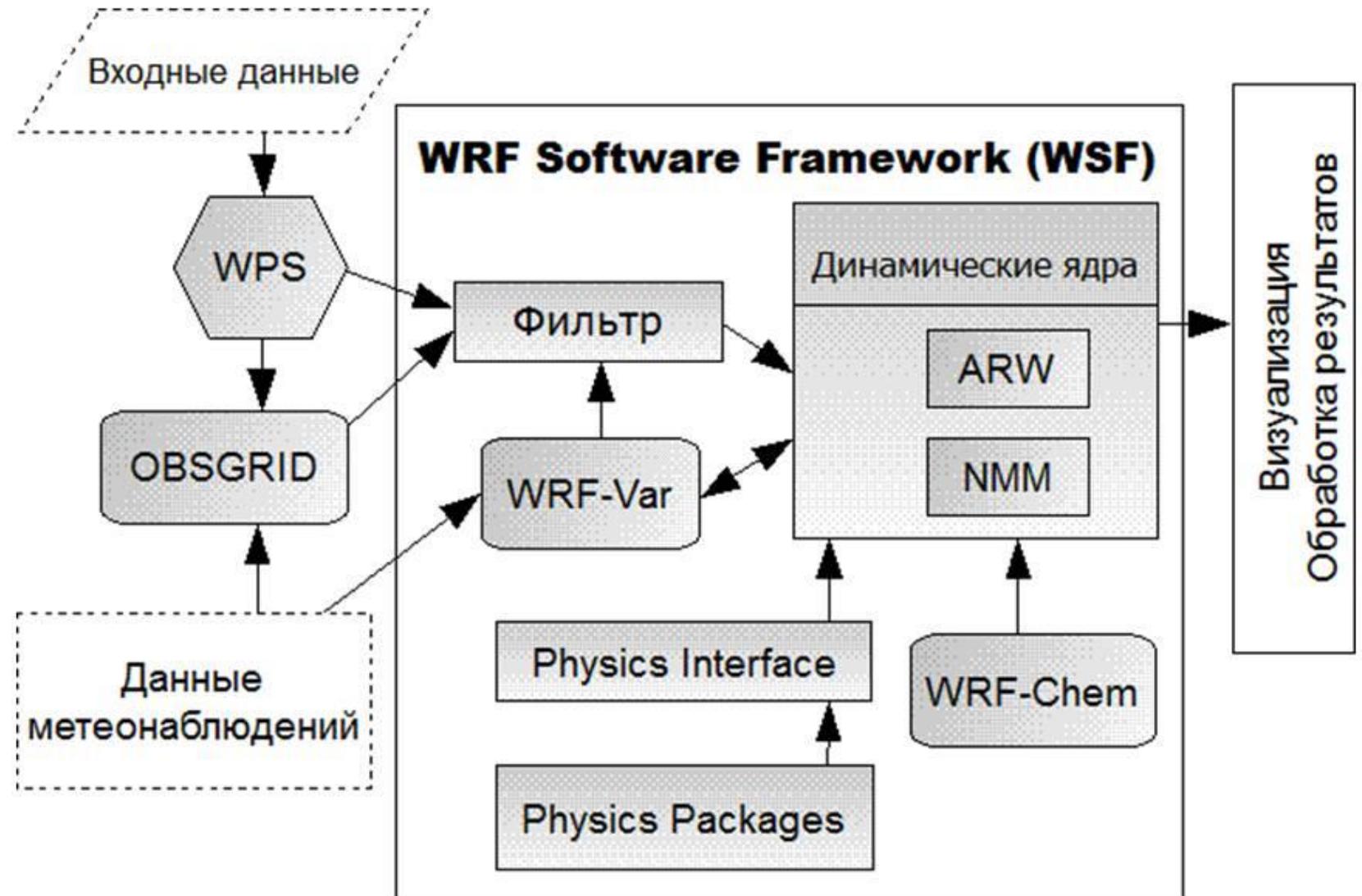


ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

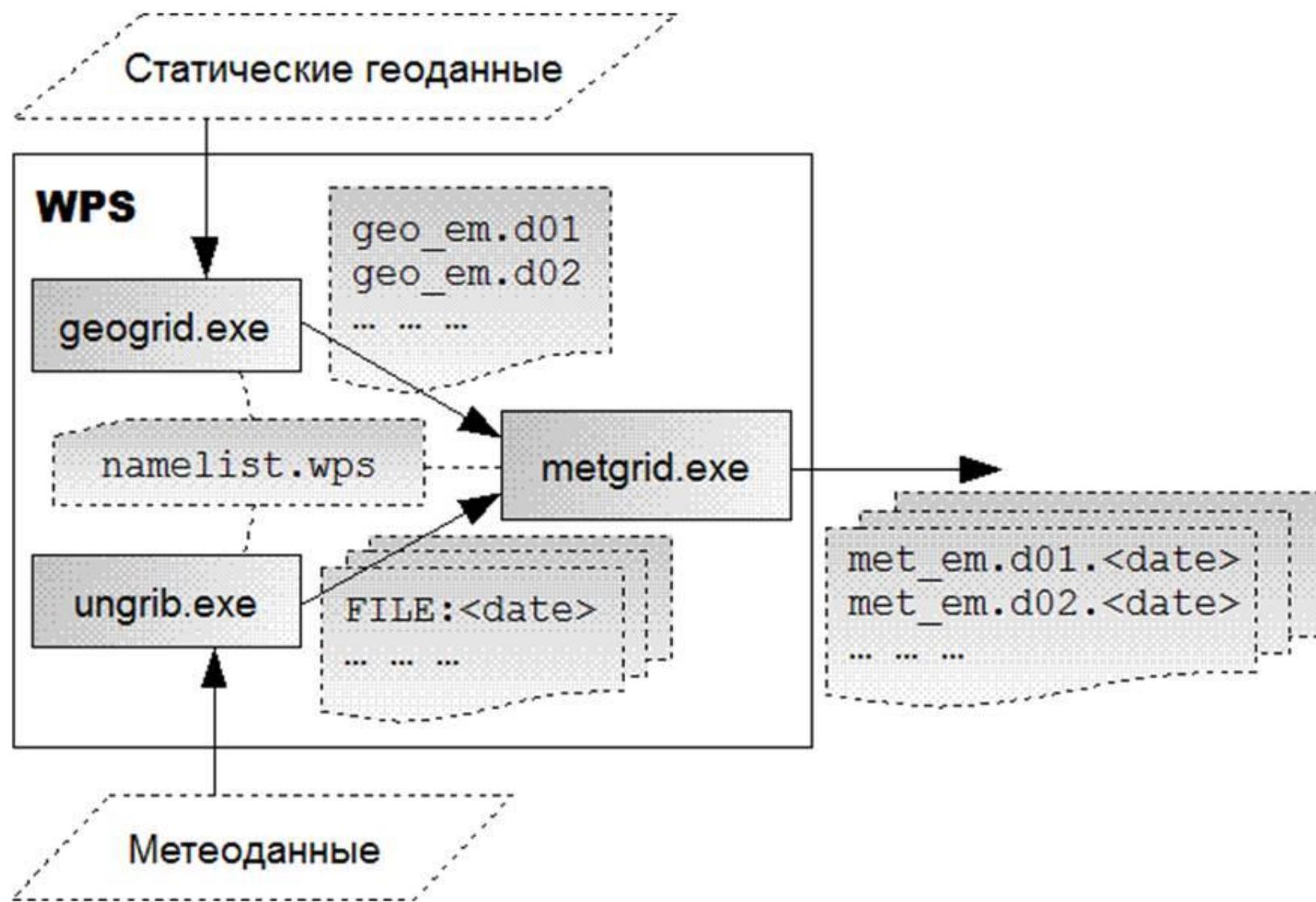
**ТЕМА 5. МОДЕЛЬ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗА
МЕЗОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ WRF**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

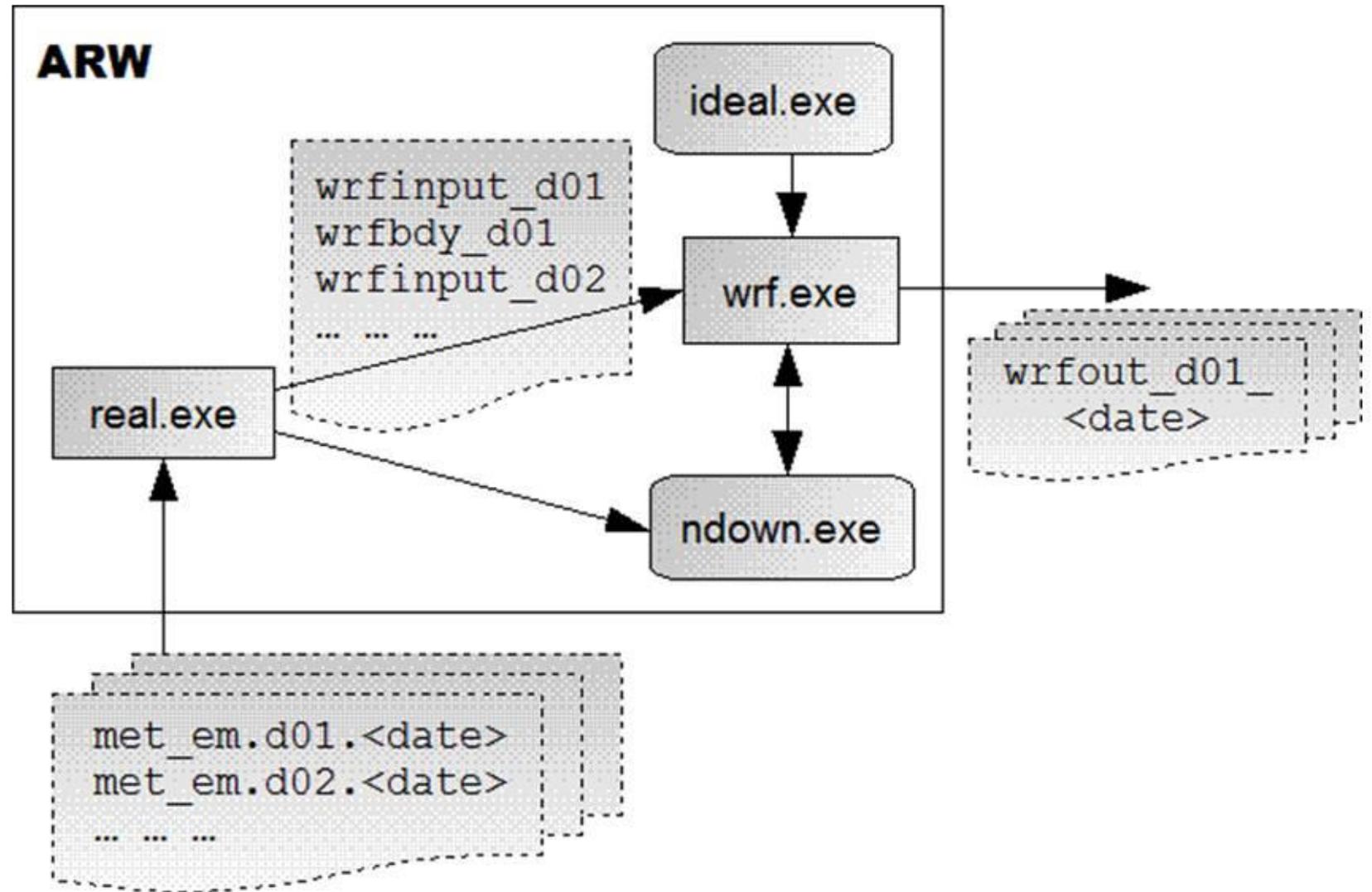
Структура программной системы WRF



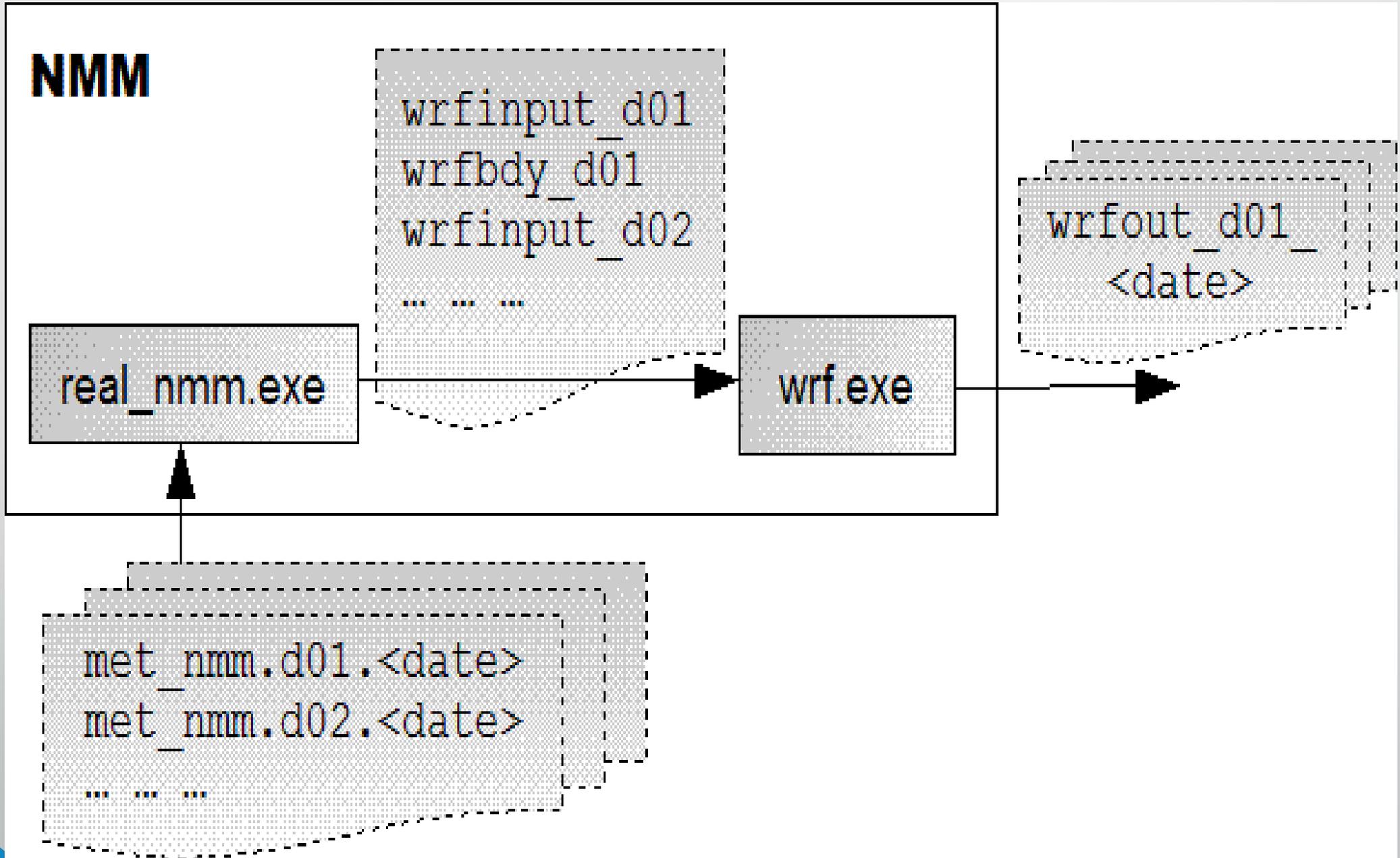
Компоненты системы подготовки данных WPS



Программная структура динамического ядра ARW



NMM



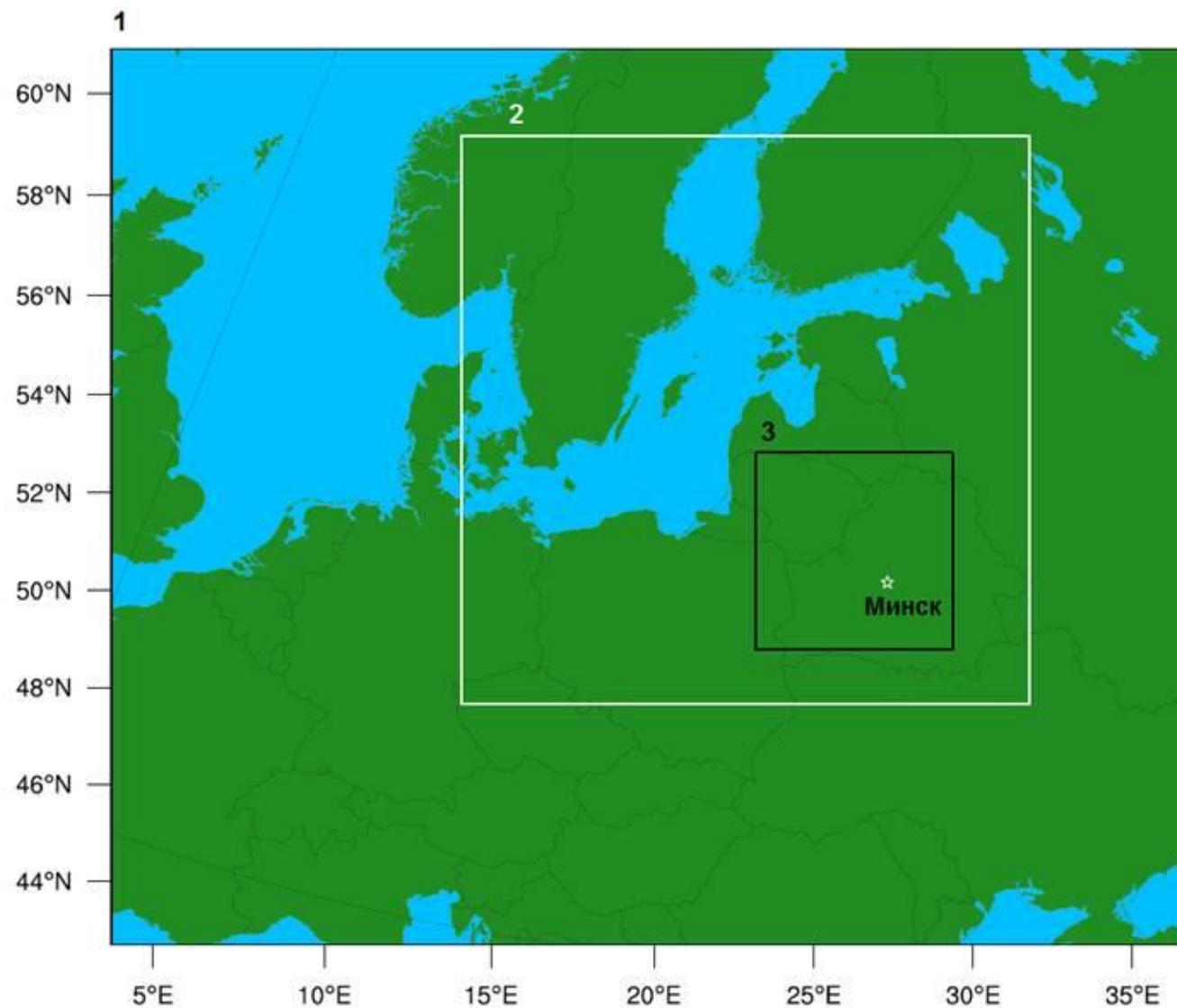
Используемые форматы файлов

- Обмен данными между компонентами системы WRF и запись результатов моделирования в выходные файлы осуществляется интерфейсом ввода-вывода WRF I/O API в выбранном пользователем формате данных.
- В настоящее время поддерживаются 5 форматов ввода-вывода: двоичный, NetCDF, PHDF5, GRIB1 и GRIB2.
- Форматом по умолчанию, рекомендуемым для использования во всех задачах моделирования, является NetCDF.
- NetCDF представляет собой формат данных с самоописанием: наряду со значениями переменных в файле содержатся и их атрибуты, такие как описание соответствующей физической величины, единица измерения и другие параметры.
- GRIB представляет собой формат битового типа, позволяющий достигнуть высокой степени сжатия данных. В настоящее время широко используется формат GRIB Edition 1 (GRIB1), а также активно внедряется его новая версия GRIB Edition 2 (GRIB2).

Конфигурация областей счёта (слайд 1)

- Для детального моделирования сложных процессов с высоким разрешением, шаг сетки должен иметь наименьшее возможное значение.
- В то же время, пространственное разрешение имеющихся исходных данных значительно ниже, что ставит проблему интерполяции .
- Кроме того, достижимый шаг расчётной сетки определяется количеством узлов и доступными вычислительными ресурсами.
- Поэтому традиционным для атмосферного моделирования решением является использование конфигурации из вложенных областей счёта с различным шагом расчётной сетки.
- **ВАЖНО !** Временной шаг Δt для каждой области определяется на основе критерия $\Delta t \text{ (с)} \leq 6 \Delta x \text{ (км)}$ исходя из шага расчётной сетки Δx .

Конфигурация областей счёта (слайд 2)



Конфигурация областей счёта (слайд 3)

Область счёта	Количество узлов	Δx , км	Δt , с
1	60 x 50	27	135
2	157 x 157	9	45
3	157 x 157	3	15

- ❑ Трёхкратное убывание шага расчётных сеток в данном примере обусловлено требованием совпадения узлов для взаимодействия вложенных областей счёта.
- ❑ Использование конфигурации с вложенными областями счёта позволяет сфокусировать вычисления с более высоким разрешением на интересующих регионах области моделирования и определённым образом адаптировать исходные данные для вложенных областей.
- ❑ Каждая из областей счёта должна в некоторой степени соответствовать определённому пространственному масштабу атмосферных явлений: область 1 отражает процессы глобальной циркуляции, область 2 – процессы синоптического масштаба, область 3 – мезомасштабные процессы.



Спасибо за внимание !

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



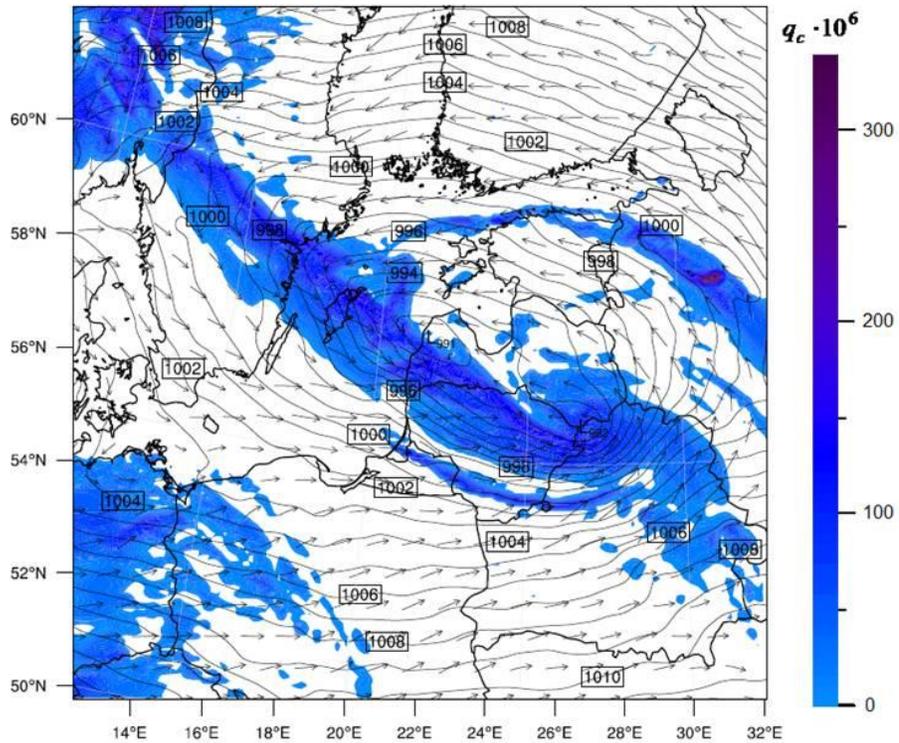
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ
WRF**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

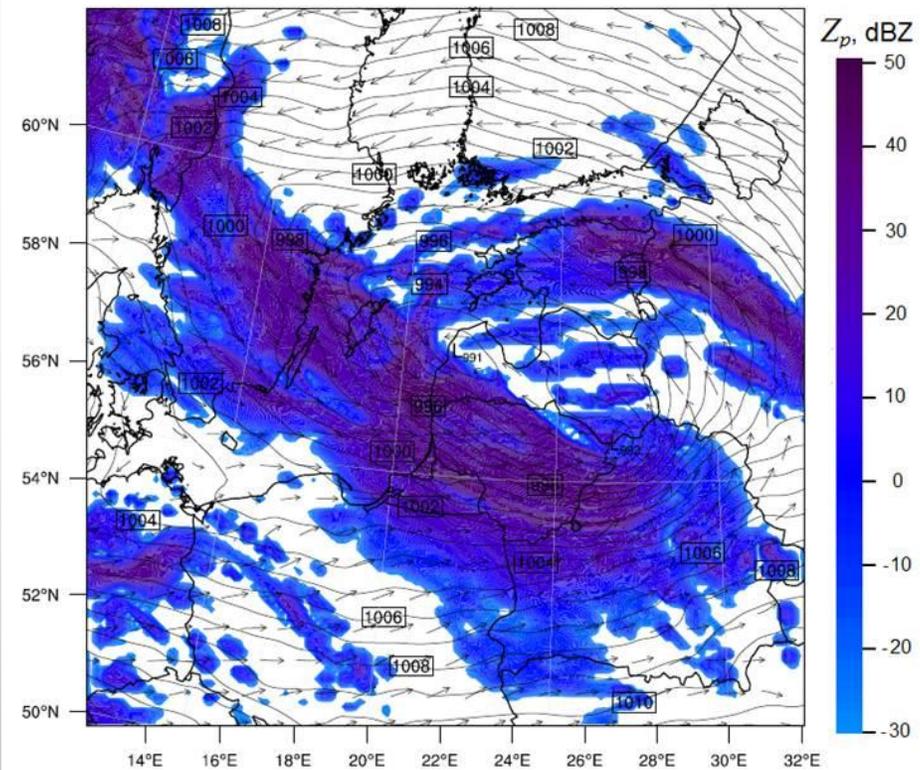
Программный код компонентов WRF строится в соответствии с принципом разделения программного представления физико-математических аспектов атмосферной модели и фрагментов кода, отвечающих за распараллеливание вычислений и другие архитектурно зависимые задачи. Распараллеливание вычислений при необходимости может использоваться практически на всех этапах моделирования и подготовки данных, демонстрируя высокий уровень быстродействия на множестве вычислительных платформ, включая многопроцессорные системы с распределённой и совместно используемой памятью, векторные и скалярные системы. Кроме того, возможно использование дополнительного аппаратного ускорения, например, задействование в вычислениях графических ускорителей (GPU).

WRF компилируется из исходного кода с использованием достаточно сложного механизма сборки, который пытается определить тип используемой компьютерной архитектуры и предлагает пользователю выбор из возможных вариантов компоновки. На многопроцессорных системах доступны варианты без распараллеливания и в режимах параллельных вычислений с совместно используемой памятью и с распределённой памятью. Механизм сборки WRF протестирован для различных ОС семейства UNIX, включая ряд дистрибутивов Linux. В процессе компоновки для анализа и построения всех необходимых файлов используются некоторые вспомогательные программы, реализованные на языке C, сценарии Perl и командных процессоров csh и bash, а также ряд стандартных для ОС семейства UNIX программных средств: make, m4, sed и awk. Компиляция системы WRF могут быть осуществлена с помощью различных компиляторов, включая коммерческие (PGI, Intel, PathScale) и свободно распространяемые (gfortran, gcc, g95).



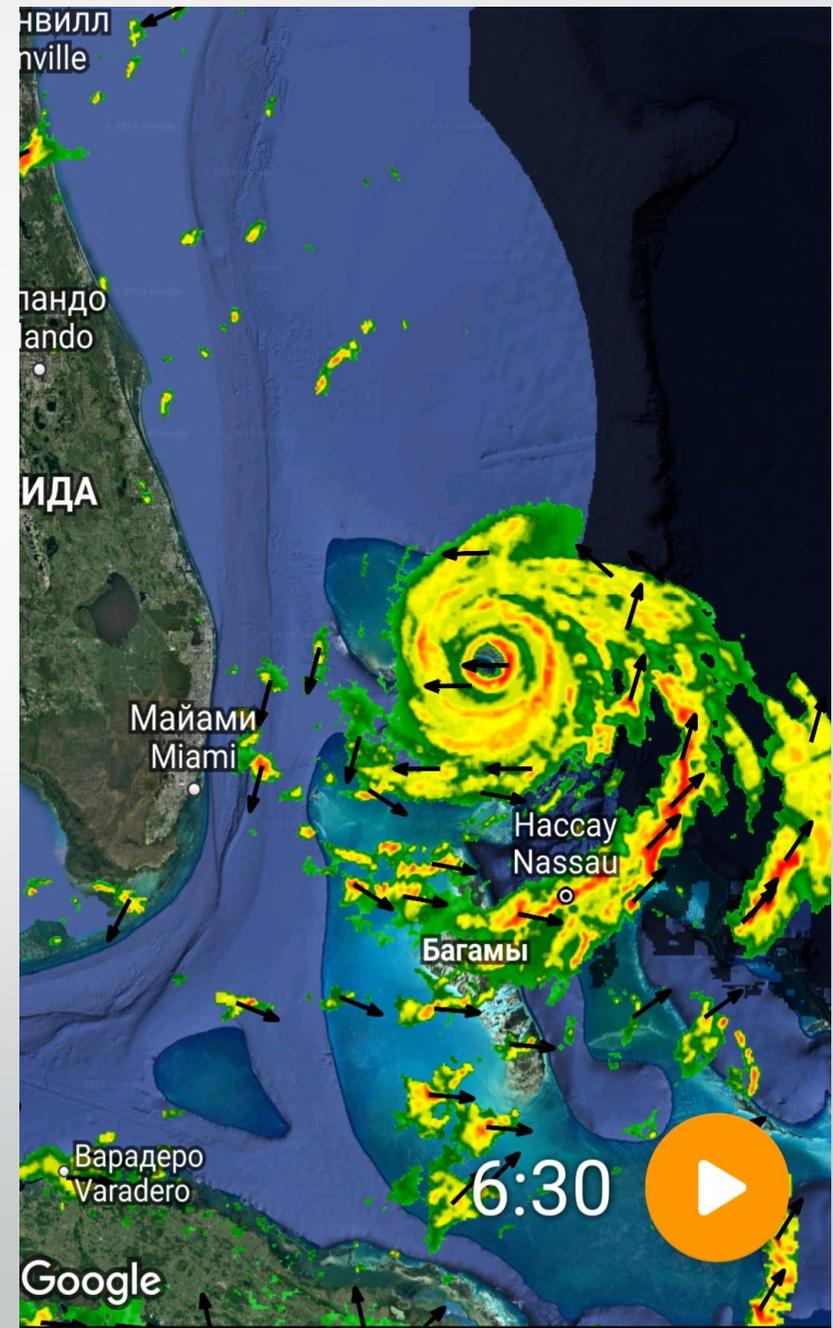
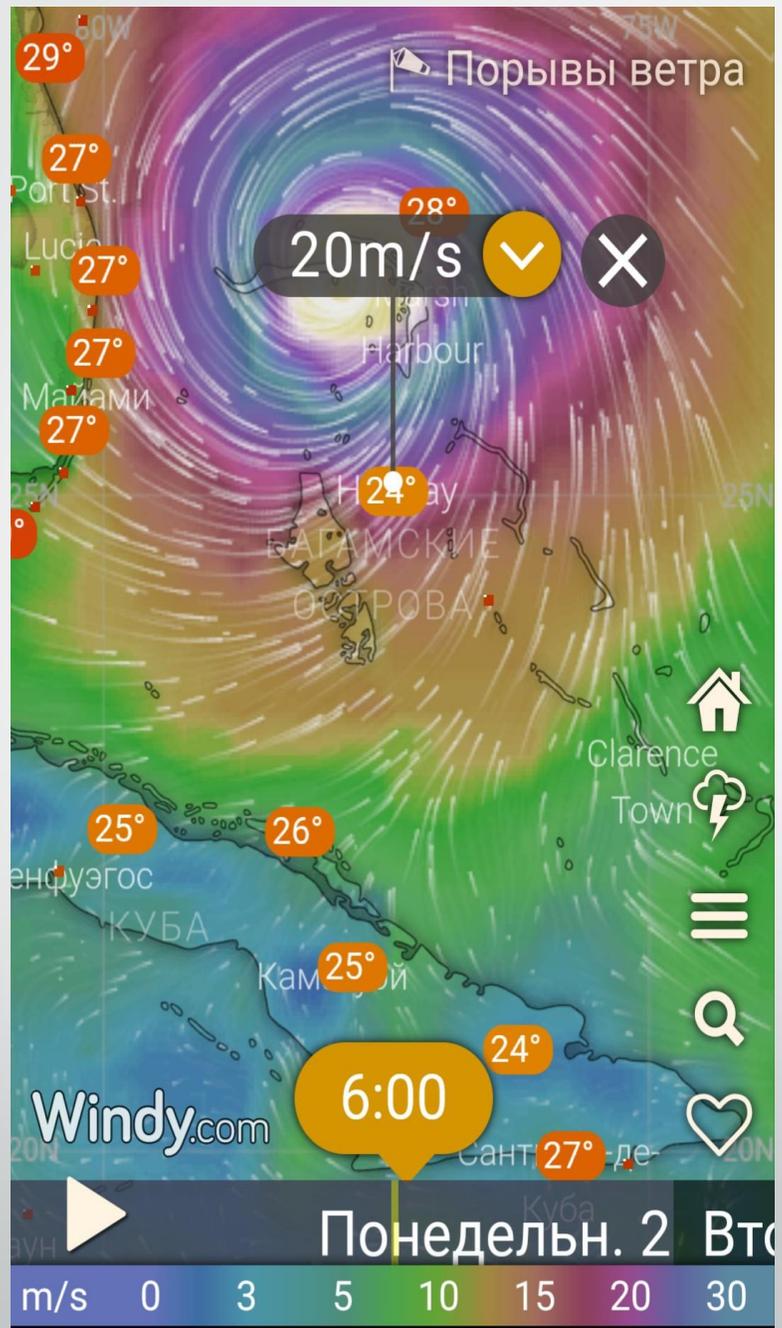
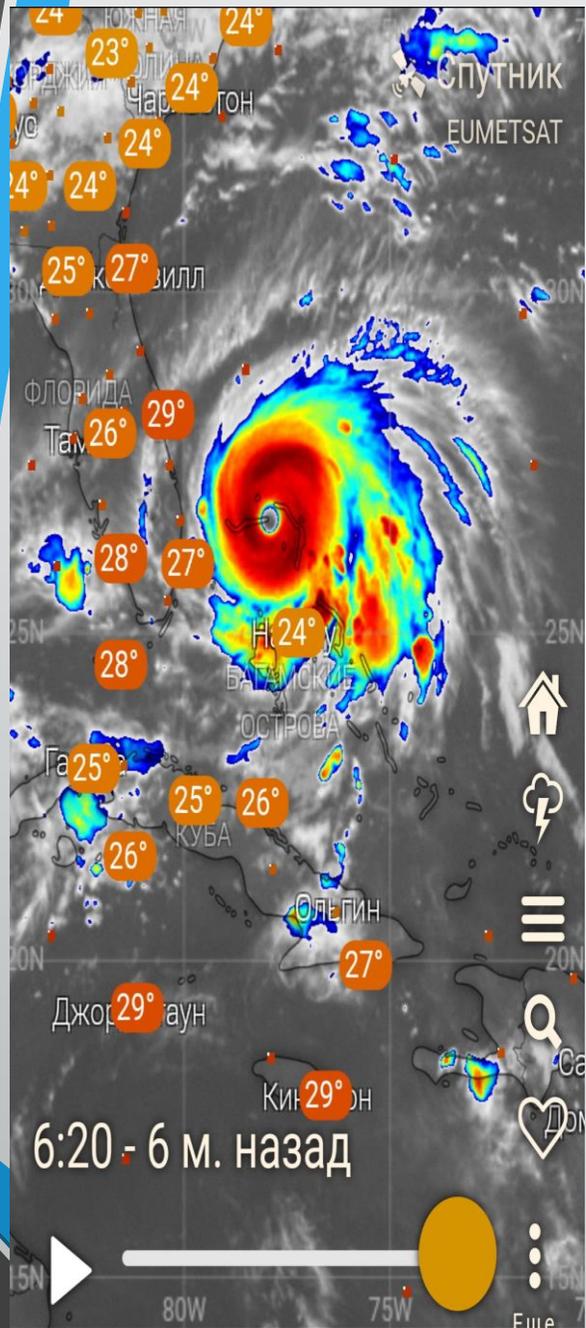
Пример.
Область 2.
12:00,
9.08.2005 г

Средневзвешенное по всем уровням η значение отношения смеси жидких частиц облачности q_c , изобары давления (гПа) на уровне моря и поле скорости приземного ветра для области 2 на.

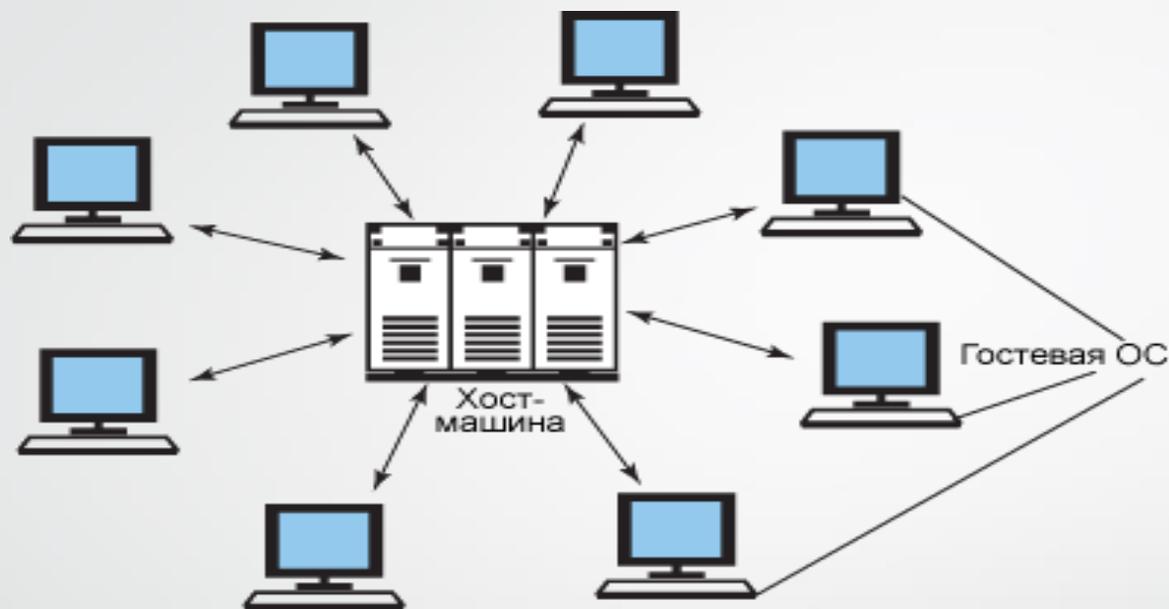


Пример.
Область 2
12:00,
9.08.2005 г.

Максимальная отражательная способность облачности Z_p (dBZ), изобары давления (гПа) на уровне моря и поле скорости приземного ветра .



Архитектура системы виртуальных машин



Гостевая операционная система — операционная система, работающая в виртуальной машине; на одном реальном компьютере может быть запущена одна хостовая и одна или множество гостевых операционных систем.

Виртуальные машины и их операционные системы

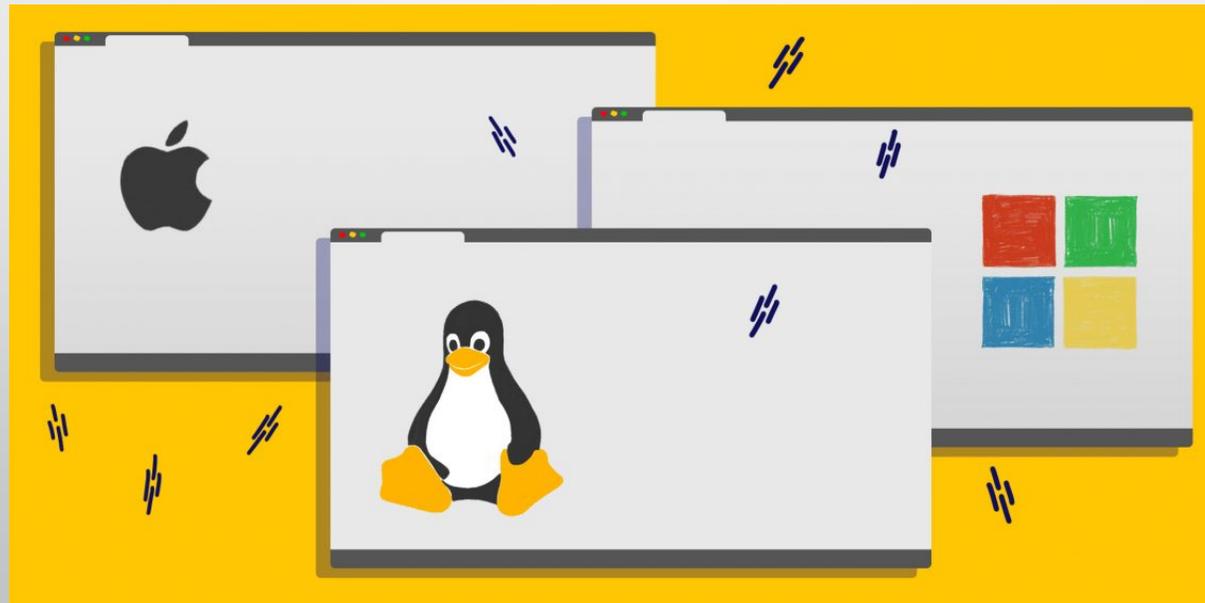
Существует большое количество различных программ для создания и управления виртуальными компьютерами.



Применение

Виртуальные машины могут использоваться для:

- защиты информации и ограничения возможностей программ
- исследования производительности ПО или новой компьютерной архитектуры
- эмуляции различных архитектур (например, эмулятор игровой приставки)
- вредоносного кода для управления инфицированной системой
- моделирования информационных систем с клиент-серверной архитектурой на одной ЭВМ
- тестирования и отладки системного программного обеспечения





Спасибо за внимание!

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ТЕМА 7. ПРИМЕНЕНИЕ ПОДСЕТОЧНЫХ
ПАРАМЕТРИЗАЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАСЧЕТОВ
ПОГОДЫ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

Обратные связи

- Процессы, протекающие в климатической системе, осуществляются в виде обратных связей между различными параметрами ее состояния. Механизмы обратной связи могут либо усиливать аномалии одного из взаимодействующих параметров (**положительная** обратная связь), либо ослаблять их (**отрицательная** обратная связь).

Пример положительной обратной связи: взаимодействие между снежным покровом и радиацией. Зимой снег на подстилающей поверхности отражает почти всю приходящую солнечную радиацию, что приводит к постоянному ее охлаждению. При таянии части снежного покрова альbedo уменьшается и усилившееся поглощение солнечной радиации земной поверхностью или водой способствует таянию снега.

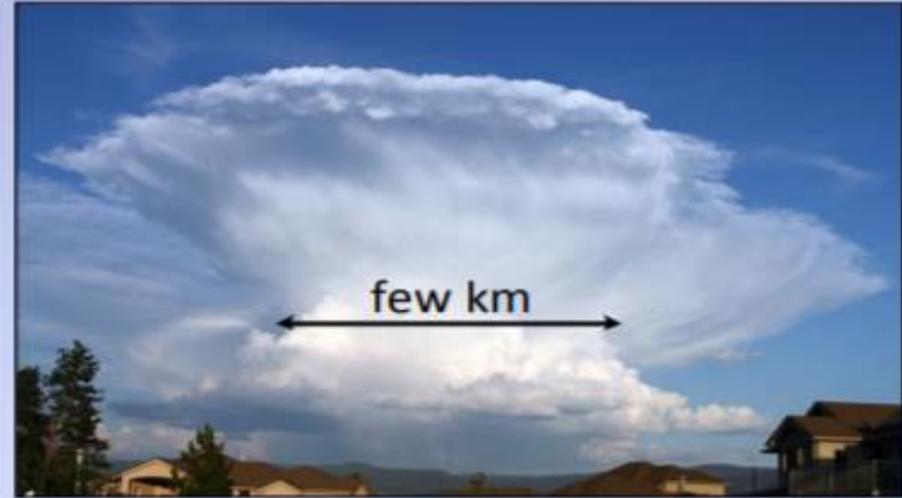
Пример отрицательной обратной связи: облачность – радиация. Повышение температуры поверхности влажной суши приводит к росту содержания водяного пара и к увеличению облачности, которое уменьшает количество солнечной радиации, достигающей поверхности, и к понижению ее температуры. В этом случае имеется также некоторая положительная обратная связь, обусловленная поглощением облаками длинноволнового излучения Земли.

Дискретизация в численных моделях

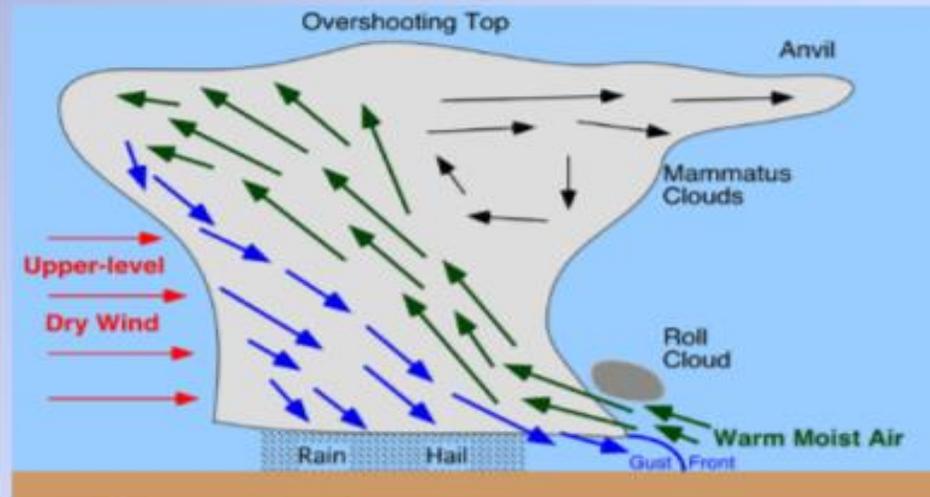
- В гидродинамическом (численном) прогнозе погоды атмосфера, представляющая собой квазиплоскую среду, интерпретируется как система с конечным числом степеней свободы и дискретизируется либо путем перехода от дифференциальных уравнений к сеточным уравнениям, либо с помощью разложения решения по ортогональным базисным функциям (ряды Фурье, обобщенные сферические функции и др.). Используются, кроме того, лагранжевы уравнения для некоторого конечного множества воздушных частиц. При переходе к сеточной области и от дифференциальных уравнений гидротермодинамики к их конечно-разностным аналогам число степеней свободы математической модели атмосферы определяется, во-первых, числом расчетных поверхностей по вертикали и, во-вторых, шагом сеточной области по горизонтальным координатам.
- Уровни и масштабы дискретизации не совпадающие с масштабами протекающих атмосферных и погодных процессов являются основной причиной необходимости использования подсеточных микрофизик.

Параметризации

**Многие процессы
оказываются в
подсеточной области:
Например, атмосферная
конвекция**



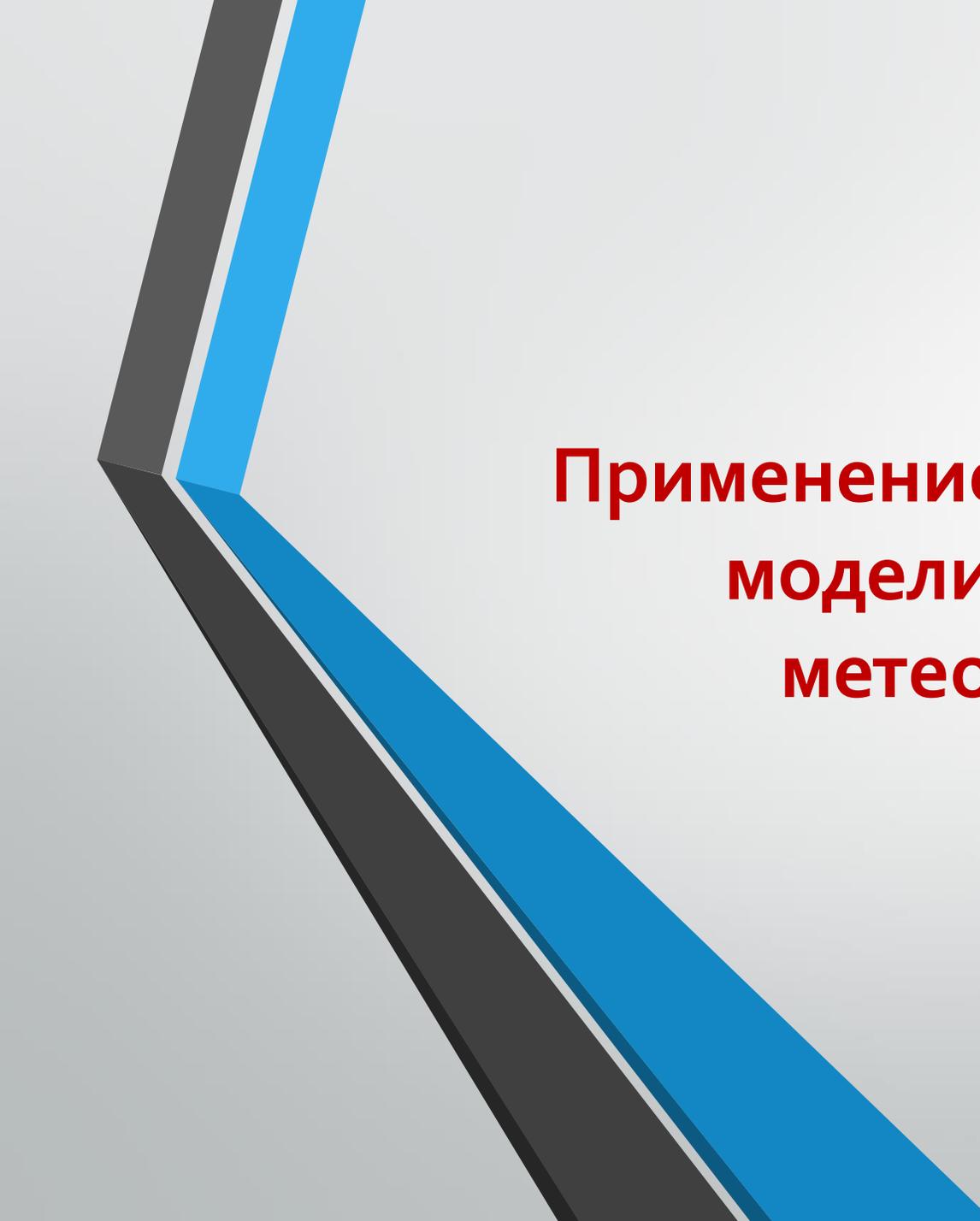
(www.physicalgeography.net)



(www.physicalgeography.net)

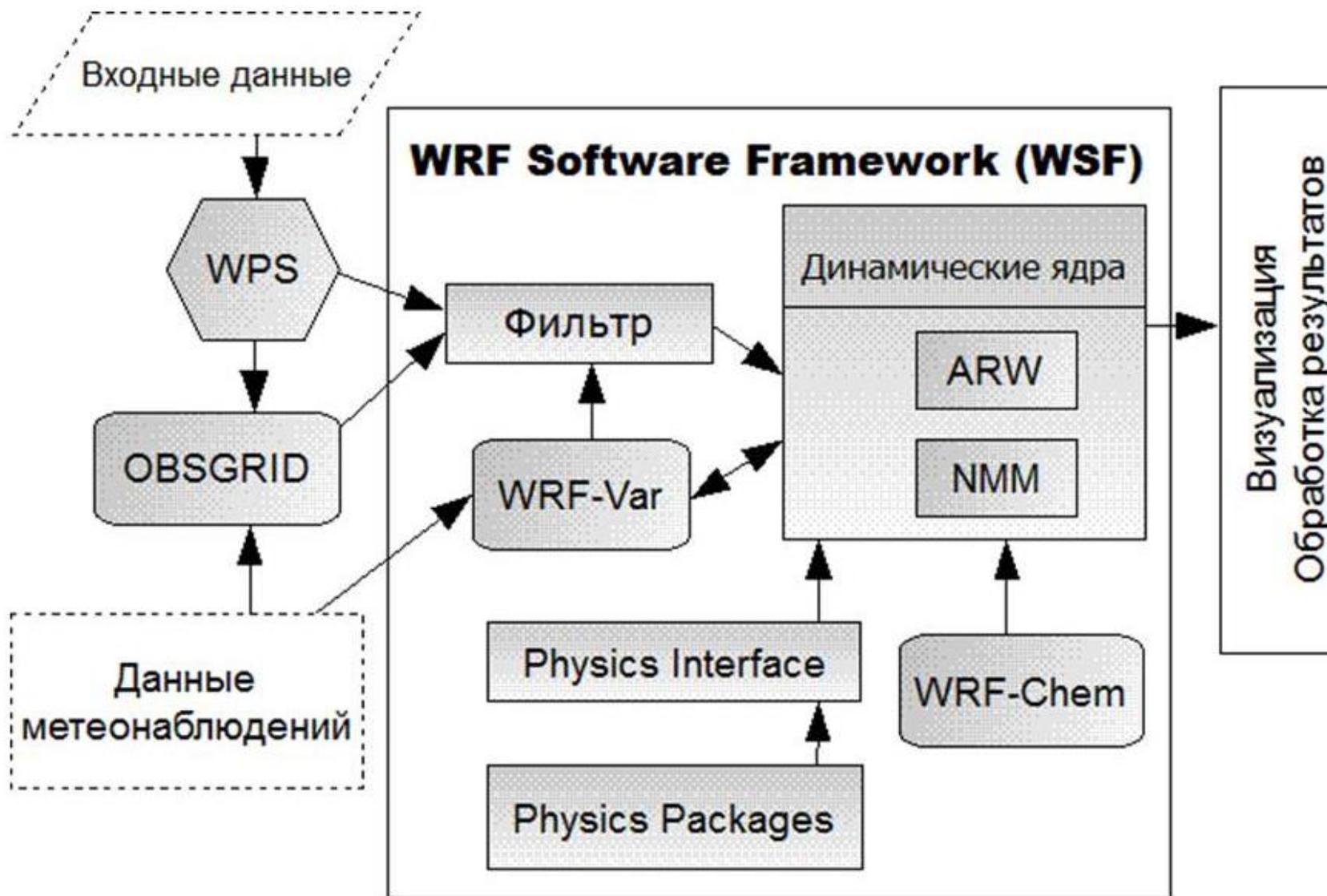
Что делает модель?

Параметризация:
Распространяет эффект
подсеточного процесса на всю
ячейку. Предполагается, что
подсеточный процесс вкладывает
определенную часть в изменение
свойств ячейки в целом.

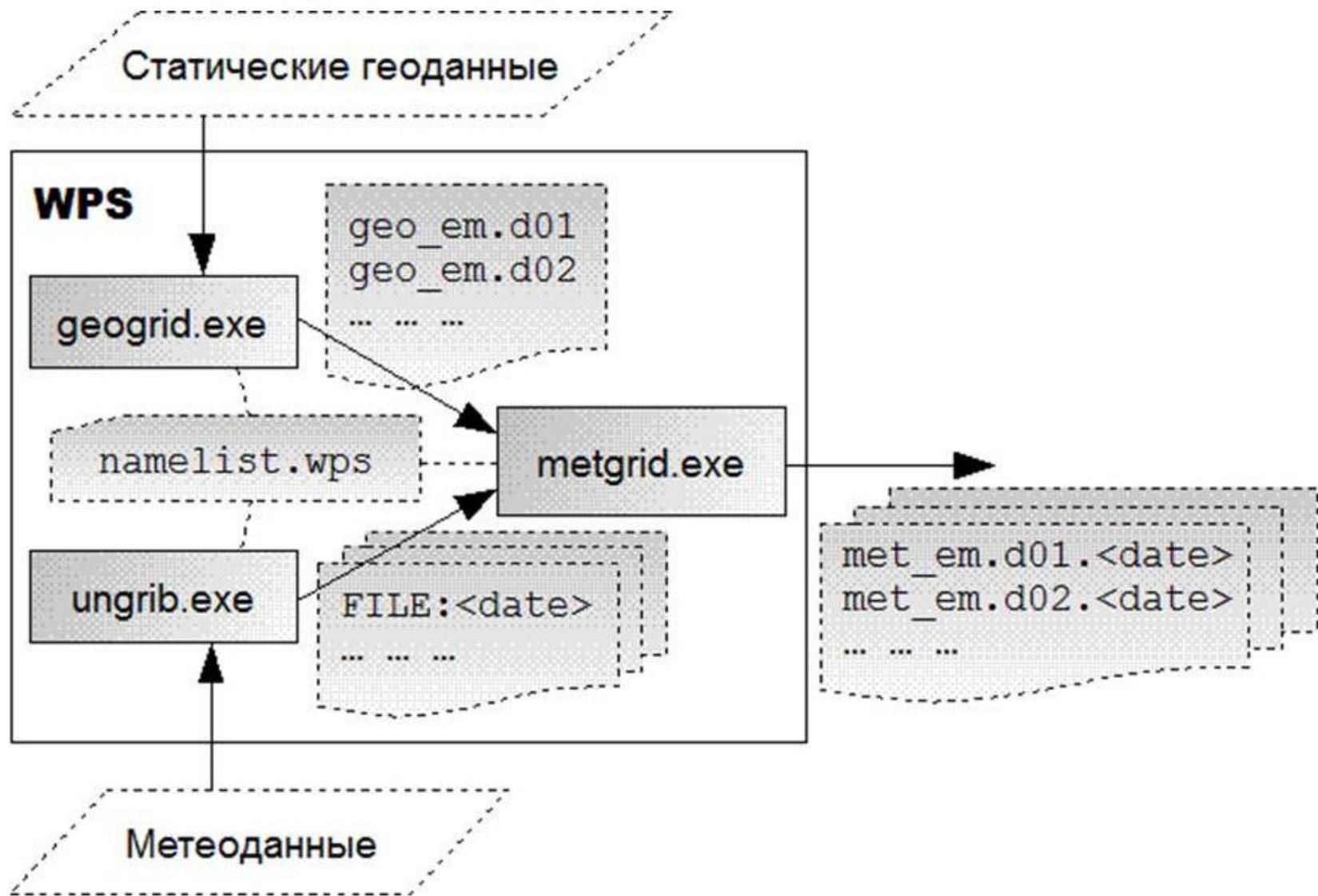


**Применение подсеточных микрофизик для
моделирования мезомасштабных
метеорологических процессов**

Структура программной системы WRF



Компоненты системы подготовки данных WPS



Пример 2 (2010/12/05)

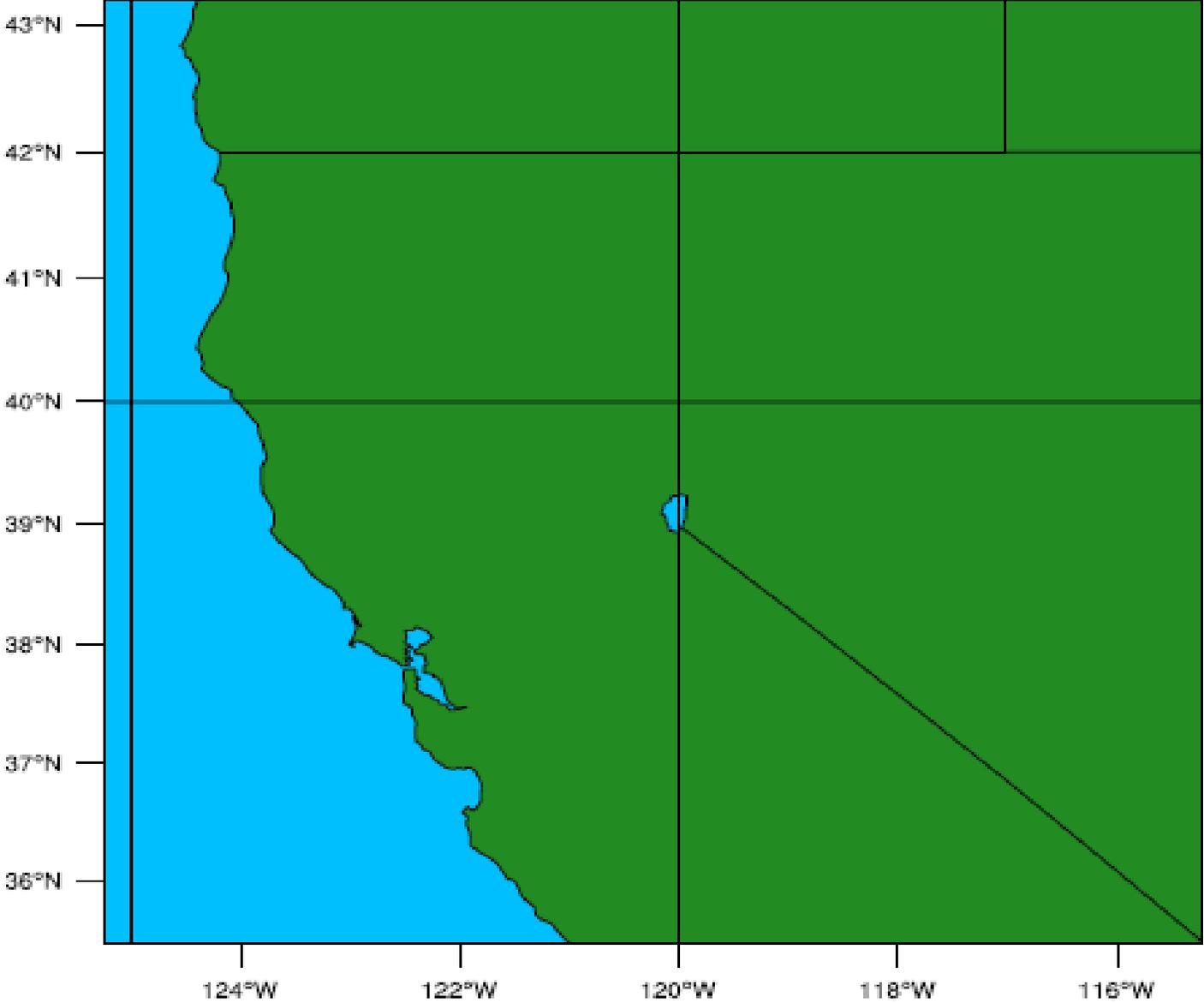
Метеоданные с сайта GFS

- gfs_3_20101205_0000_000.grb
- gfs_3_20101205_0600_000.grb
- gfs_3_20101205_1200_000.grb
- gfs_3_20101205_1800_000.grb

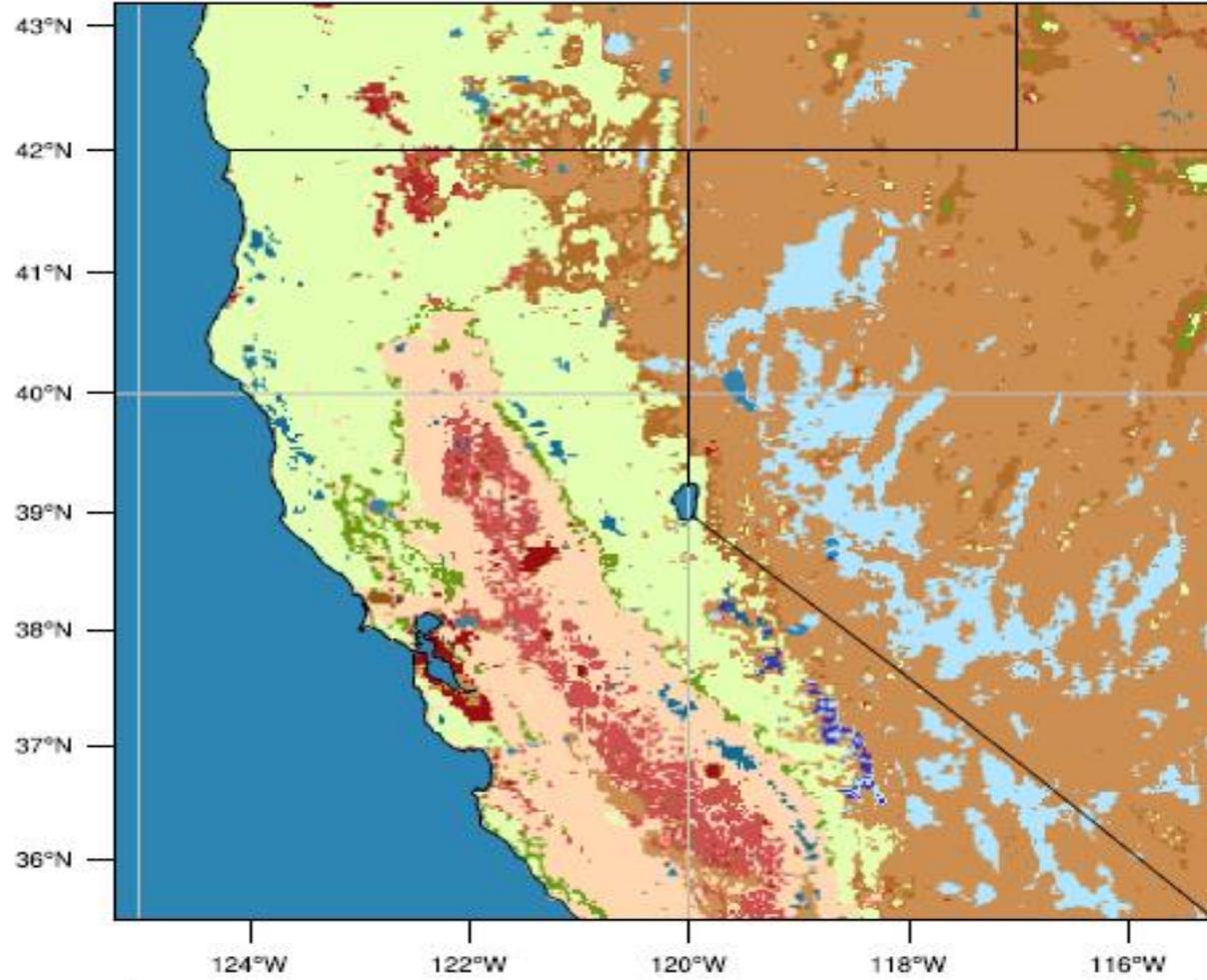
gfs-3 «3» - означает, что данные с пространственным разрешением 0.5°

```
&share
wrf_core = 'ARW',
max_dom = 1,
start_date = '2010-12-05_00:00:00','2006-08-16_12:00:00',
end_date = '2010-12-05_18:00:00','2006-08-16_12:00:00',
interval_seconds = 10800
io_form_geogrid = 2,
/
&geogrid
parent_id = 1, 1,
parent_grid_ratio = 1, 3,
i_parent_start = 1, 31,
j_parent_start = 1, 17,
e_we = 40, 112,
e_sn = 48, 97,
geog_data_res = '10m','2m',
dx = 30000,
dy = 30000,
map_proj = 'lambert',
ref_lat = 53.00,
ref_lon = 27.00,
truelat1 = 53.0,
truelat2 = 57.0,
stand_lon = 27.0
geog_data_path = '/geog/'
/
&ungrib
out_format = 'WPS',
prefix = 'FILE',
/
&metgrid
fg_name = 'FILE'
io_form_metgrid = 2,
/
```

WPS Domain Configuration

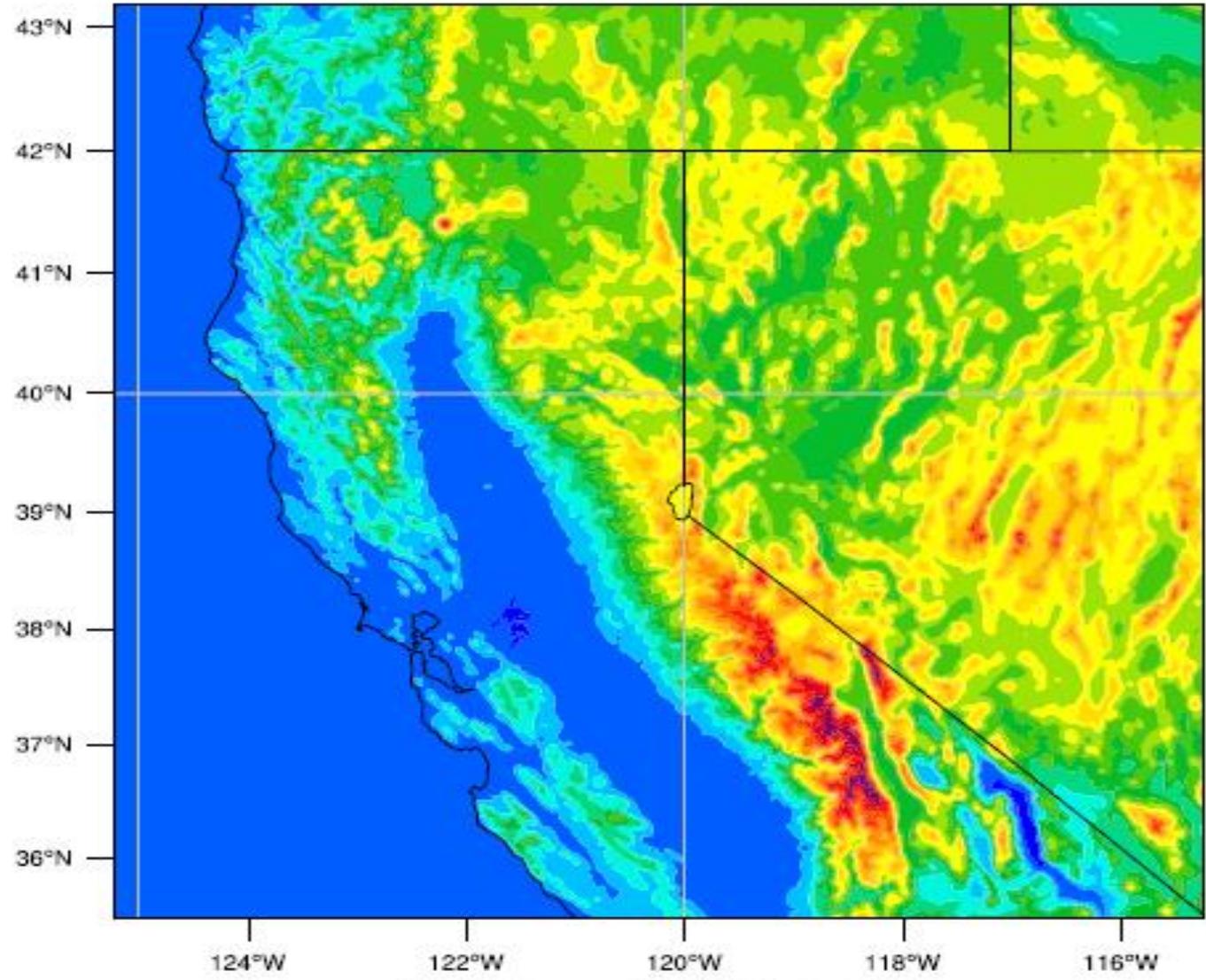


LU_INDEX : Dominant category (category)

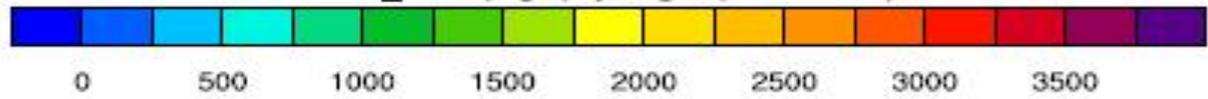


- Urban and Built-Up Land
- Dryland Cropland and Pasture
- Irrigated Cropland and Pasture
- Mixed Dryland/Irrigated Cropland
- Cropland/Grassland Mosaic
- Grassland/Woodland Mosaic
- Grassland
- Shrubland
- Mixed Shrubland/Grassland
- Savanna
- Dominant Broadleaf Forest
- Dominant Needleleaf Forest
- Evergreen Broadleaf Forest
- Evergreen Needleleaf Forest
- Mixed Forest
- Water Bodies
- Herbaceous Wetland
- Wooded Wetland
- Bare or Sparsely Vegetated
- Herbaceous Tundra
- Wooded Tundra
- Mixed Tundra
- Bare Ground Tundra
- Snow or Ice

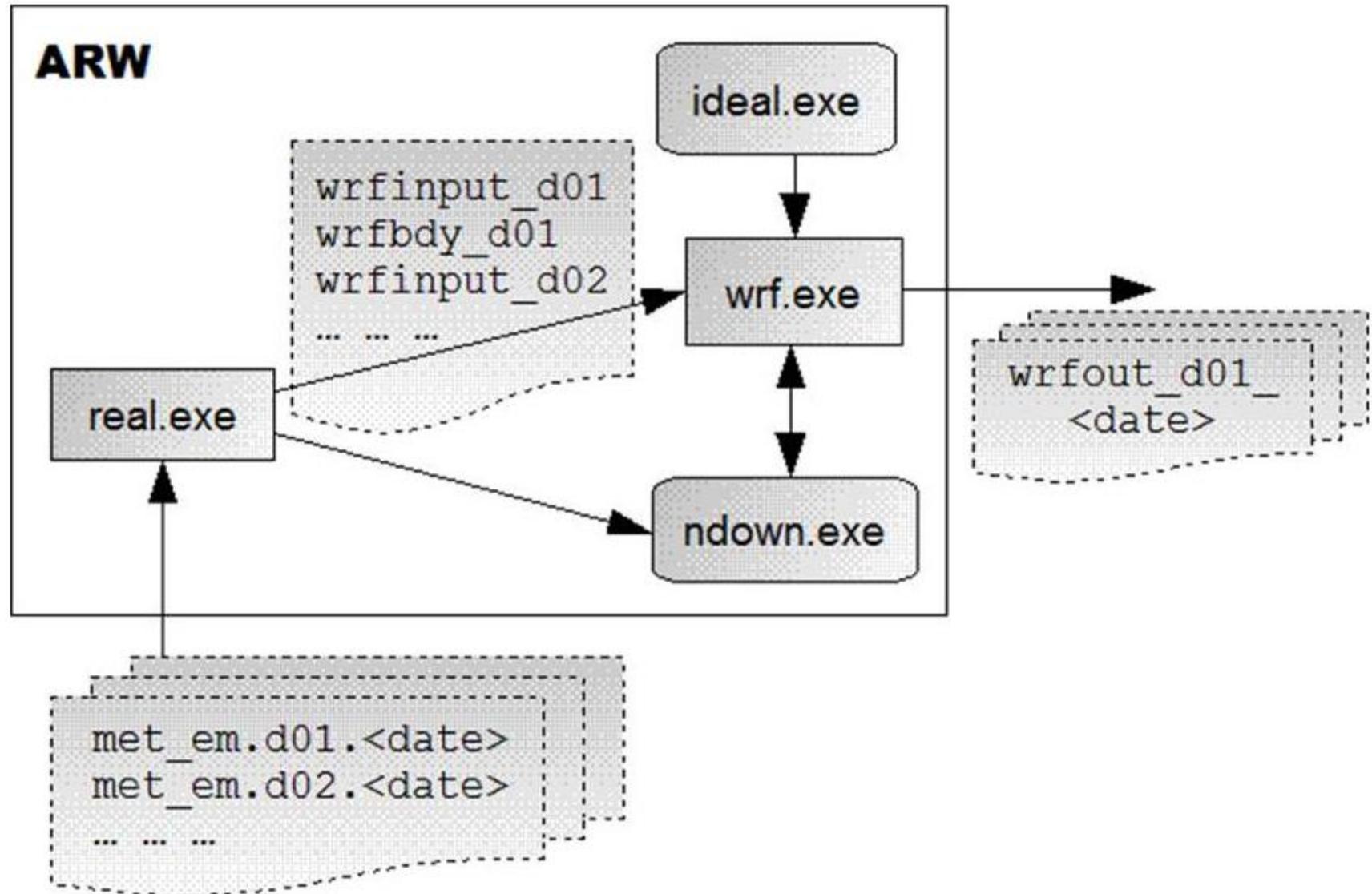
HGT_M : Topography height (meters MSL)



HGT_M : Topography height (meters MSL)



Программная структура динамического ядра ARW



namelist.input

```
&time_control
run_days      = 0,
run_hours     = 18,
run_minutes   = 0,
run_seconds   = 0,
start_year    = 2010, 2000, 2000,
start_month   = 12, 01, 01,
start_day     = 05, 24, 24,
start_hour    = 00, 12, 12,
start_minute  = 00, 00, 00,
start_second  = 00, 00, 00,
end_year      = 2010, 2000, 2000,
end_month     = 12, 01, 01,
end_day       = 05, 25, 25,
end_hour      = 18, 12, 12,
end_minute    = 00, 00, 00,
end_second    = 00, 00, 00,
interval_seconds = 10800
input_from_file = .true.,.true.,.true.,
history_interval = 60, 60, 60,
frames_per_outfile = 1, 1000, 1000,
restart       = .false.,
restart_interval = 720,
io_form_history = 2
io_form_restart = 2
io_form_input  = 2
io_form_boundary = 2
debug_level   = 0

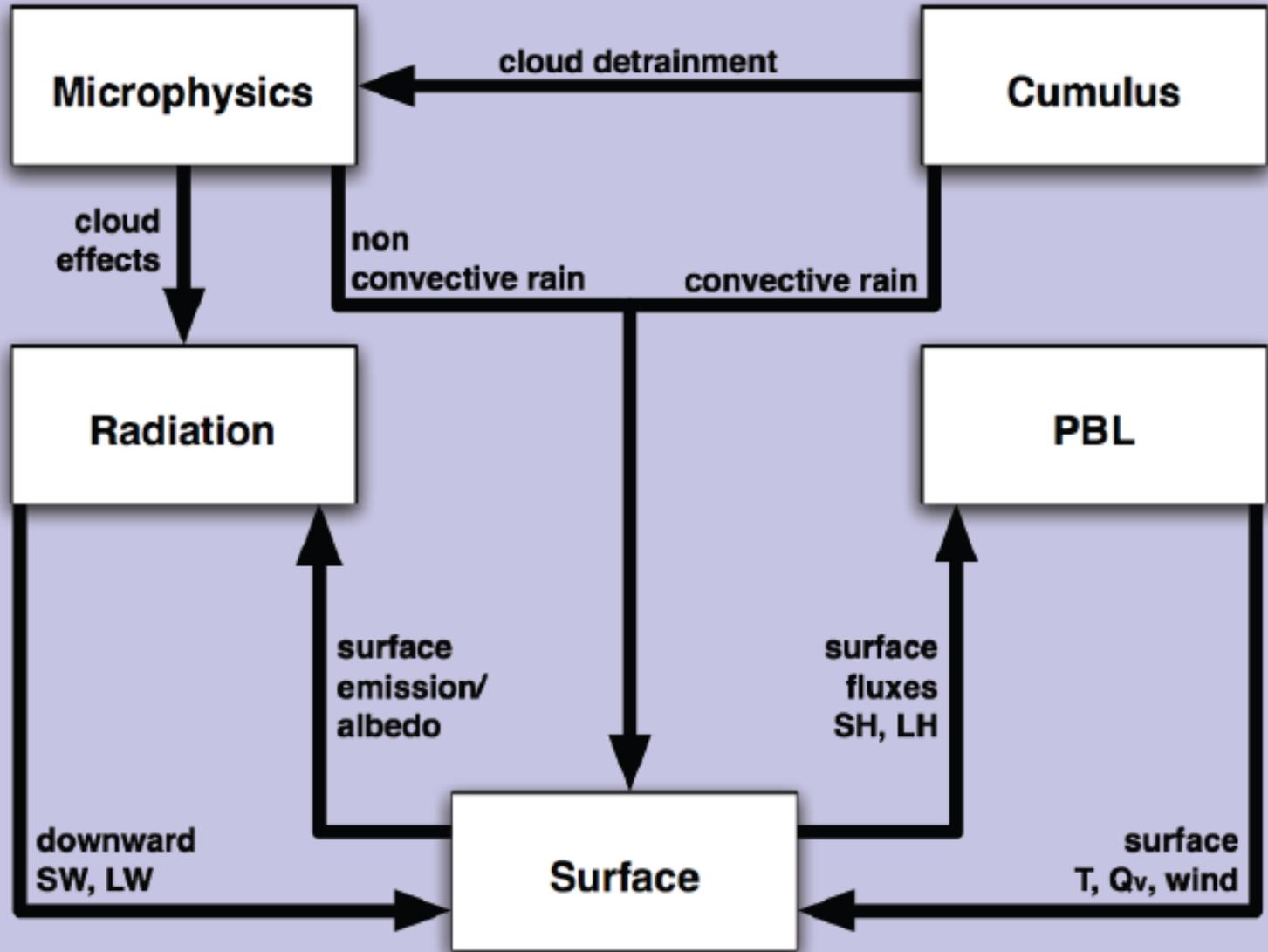
auxinput1_inname = "metgrid/met_em.d<domain>.<date>"
/

&domains
time_step      = 18,
time_step_fract_num = 0,
time_step_fract_den = 1,
max_dom        = 1,
e_we           = 120, 112, 94,
e_sn           = 120, 97, 91,
e_vert         = 28, 28, 28,
p_top_requested = 5000,
num_metgrid_levels = 27,
num_metgrid_soil_levels = 4,
dx             = 3000, 10000,
3333.33,
dy             = 3000, 10000,
3333.33,
grid_id        = 1, 2, 3,
parent_id      = 0, 1, 2,
i_parent_start = 1, 31, 30,
j_parent_start = 1, 17, 30,
parent_grid_ratio = 1, 3, 3,
parent_time_step_ratio = 1, 3,
3,
feedback       = 1,
smooth_option  = 0
/
```

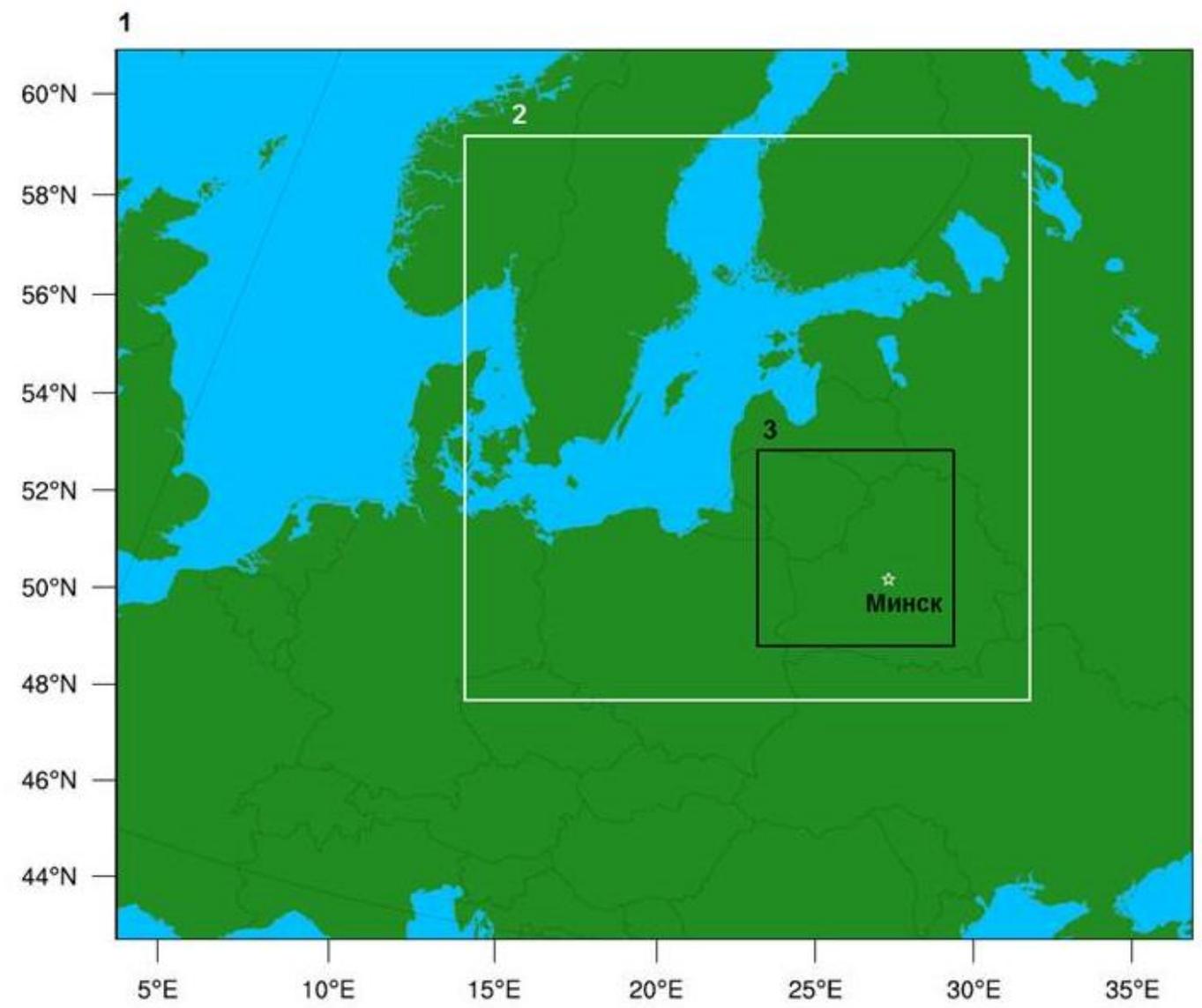
```
&physics
mp_physics          = 8,  3,  3,
ra_lw_physics       = 1,  1,  1,
ra_sw_physics       = 1,  1,  1,
radt                = 3, 30, 30,
sf_sfclay_physics   = 1,  1,  1,
sf_surface_physics  = 2,  2,  2,
bl_pbl_physics      = 1,  1,  1,
bldt                = 0,  0,  0,
cu_physics           = 0,  1,  0,
cudt                = 0,  5,  5,
isfflx              = 1,
ifsnow              = 1,
icloud              = 1,
surface_input_source = 1,
num_soil_layers     = 4,
sf_urban_physics    = 0,  0,  0,
maxiens             = 1,
maxens              = 3,
maxens2             = 3,
maxens3             = 16,
ensdim              = 144,
/
```

```
&fdda
/
&dynamics
w_damping           = 0,
diff_opt            = 1,
km_opt              = 4,
diff_6th_opt        = 0,  0,  0,
diff_6th_factor     = 0.12, 0.12, 0.12,
base_temp           = 290,
damp_opt            = 0,
zdamp               = 5000., 5000., 5000.,
dampcoef            = 0.2,  0.2,  0.2
khdif               = 0,  0,  0,
kvdif               = 0,  0,  0,
non_hydrostatic     = .true., .true.,
.true.,
moist_adv_opt       = 1,  1,  1,
scalar_adv_opt      = 1,  1,  1,
/
&bdy_control
spec_bdy_width      = 5,
spec_zone           = 1,
relax_zone          = 4,
specified            = .true., .false., .false.,
nested              = .false., .true., .true.,
/
&grib2
/
&namelist_quilt
nio_tasks_per_group = 0,
nio_groups = 1,
/
```

Direct Interactions of Parameterizations



Конфигурация областей счёта (слайд 2)



Использование параметризаций (слайд 1)

- Для параметризации микрофизических процессов могут использоваться различные схемы, доступные в пакете WRF, например, схемы семейства WSM (WRF Single-Moment Microphysics).
- Семейство WSM включает в себя схемы WSM3, WSM5 и WSM6, отличающиеся между собой количеством воспроизводимых гидрометеоров, в основе построения которых лежит подход, предложенный Хонгом и др.
- Схема WSM5 включает 5 классов гидрометеоров: водяной пар, жидкие частицы облачности, ледяные кристаллы облачности, дождь и снег.
- Более совершенная схема WSM6, включает в себя ледяную крупу в качестве дополнительной прогностической переменной. Влияние крупы на микрофизические процессы может быть весьма существенно в таких атмосферных явлениях, как активные циклоны.
- В то же время использование схем параметризации микрофизики, включающих в себя крупу, нерационально при шаге сетки > 10 км, поскольку отдельные восходящие потоки, отвечающие за её формирование в облаках, не будут разрешены в модели.
- Поэтому рационально выбирать схему WSM5 для области 1 (в нашем примере) с шагом 27 км.
- Для областей 2 и 3 возможно использование WSM6.

Использование параметризаций (слайд 2)

- Для параметризация конвекции в областях с шагом более 10 км может использоваться ансамблевая схема Грелла-Девеньи.
- В данной схеме для каждого узла сетки производится расчёт микрофизических процессов для некоторого набора различных схем микрофизики и некоторого диапазона параметров. Влияние микрофизических процессов на моделируемую динамику определяется путём усреднения по всему ансамблю, при необходимости каждый элемент ансамбля может иметь собственный статистический вес.
- Например, в реальном моделировании урагана 2005 г. для данных областей 1 и 2 использовался ансамбль из 144 элементов. В области 3 параметризация конвекции не использовалась, что оправдано при шаге сетки 3 км.

Использование параметризаций (слайд 3)

- Во всех областях для параметризации процессов переноса теплоты, влаги и импульса вследствие турбулентной диффузии в планетарном пограничном слое использовалась схема, разработанная в Сеульском университете Йонсей.
- В данной схеме толщина пограничного слоя определяется исходя из вертикального температурного профиля, а параметры турбулентной диффузии зависят от числа Ричардсона для свободной атмосферы.
- Турбулентное перемешивание в горизонтальной плоскости желательно рассчитывать с учётом кривизны поверхностей η на основе тензора горизонтальной деформации.
- Такой подход является типичным для широкого диапазона значений шага расчётной сетки: вертикальный турбулентный перенос рассчитывается в рамках параметризации пограничного слоя, в то время как схема подсеточной турбулентности дополнительно учитывает горизонтальный турбулентный перенос.
- Однако при достаточно малом (< 1 км) шаге сетки параметризация пограничного слоя неприменима, поскольку в модели становится возможным разрешить отдельные турбулентные вихри в пограничном слое.
- В таком случае производится прямой расчёт турбулентного переноса во всех трёх измерениях.

Использование параметризаций (слайд 4)

- Параметризация процессов переноса теплоты, влаги и импульса между земной поверхностью и приземным слоем атмосферы основывается на величине длины шероховатости земной поверхности z_0 , являющейся мерой начального масштаба длины приповерхностных турбулентных вихрей.
- Длина z_0 существенно зависит от конкретного типа подстилающей земной поверхности и имеет различное значение для вектора скорости и скалярных величин.
- Расчёт производится согласно теории подобия Монина-Обухова на основе схемы, использовавшейся ранее в мезомасштабной модели MM5.
- Рассчитываемые схемой процессов в приземном слое атмосферы коэффициенты переноса используются в параметризации процессов непосредственно в верхних слоях земной поверхности.
- Для этого можно использовать схему Noah LSM (Land Surface Model). В ней рассматривается температура и влажность для 4 слоёв почвы различной глубины и их диффузия. Соответствующим образом учитывается тип местности и тип почвы, влияние растительного покрова, а также возможен учёт влияния снежного покрова и промерзания почвы, что не требуется для рассматриваемой задачи.
- Полученные в результате вычислений значения потоков теплоты и влажности между земной поверхностью и атмосферой используются в параметризации пограничного слоя.

Использование параметризаций (слайд 5)

- Параметризация процессов переноса длинноволнового излучения может производиться по схеме RRTM (Rapid Radiation Transfer Model).
- RRTM представляет собой спектральную схему, в которой используется таблица предвычисленных коэффициентов поглощения для набора спектральных полос и учитывается взаимодействие с облаками. Используются заданные профиль распределения озона и содержание углекислого газа, предполагающиеся постоянными во времени (приемлемо для краткосрочного моделирования).
- Перенос коротковолнового излучения может быть рассчитан по схеме модели MM5 (схема Дудья), в которой учитывается рассеяние безоблачным небом, поглощение водяным паром, отражение и поглощение облаками.

От грамотного выбора параметризаций зависит эффективность и достоверность расчета !!!



Microphysics Options in WRF

Jimmy Dudhia
NCAR/MMM

Microphysics

- Provides atmospheric heat and moisture tendencies
- Microphysical rates
- Surface rainfall

Microphysics plays a key role in cloud, climate and weather models

-Latent heating/cooling

(condensation, evaporation, deposition, sublimation, freezing, melting)

-Condensate loading

(mass of the condensate carried by the flow)

-Precipitation

(fallout of larger particles)

-Coupling with surface processes

(moist downdrafts leading to surface-wind gustiness, cloud shading)

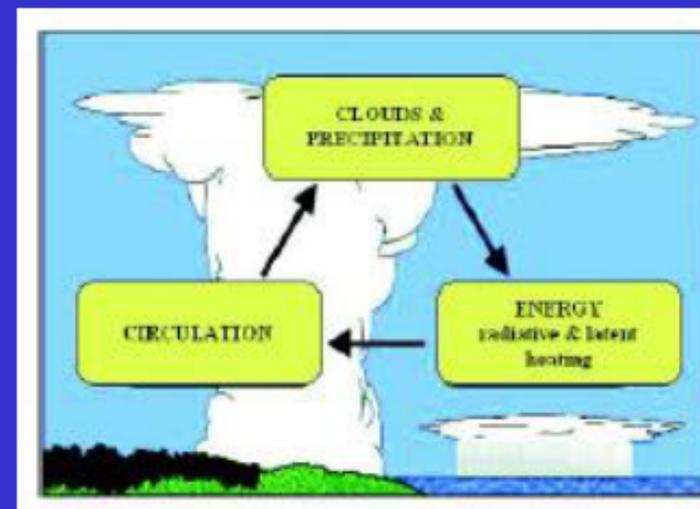
-Radiative transfer

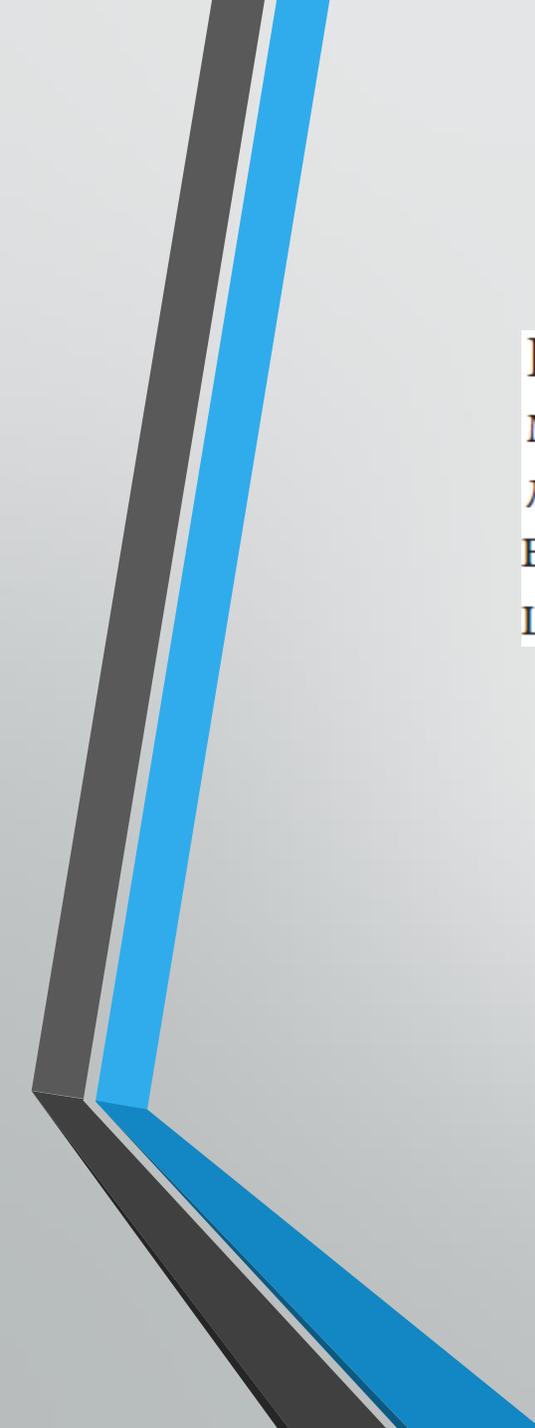
(mostly mass for absorption/emission of LW, particle size also important for SW)

-Cloud-aerosol-precipitation interactions

(aerosol affect clouds: indirect aerosol effects, but clouds process aerosols as well)

Stephens (2005)





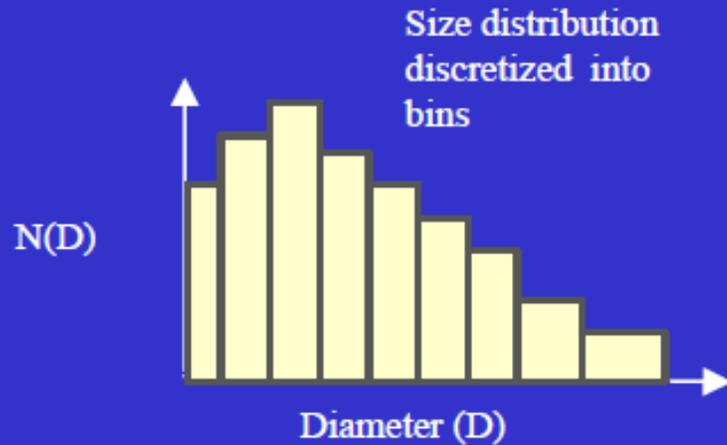
Параметризации микрофизических процессов являются общими для моделей ARW и NMM. Имеется возможность использовать 9 различных параметризаций с различной степенью учета гидрометеоров в жидкой и твердой фазах и соответствующих микрофизических процессов.

Microphysics schemes in V3.2

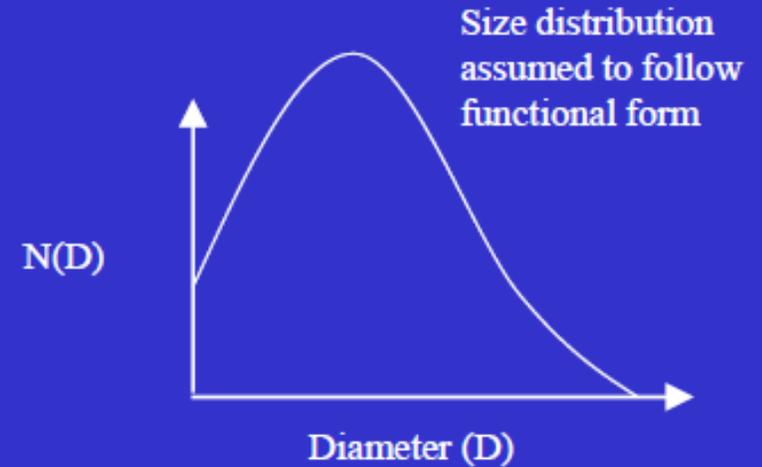
mp_physics	Scheme	Reference	Added
1	Kessler	Kessler (1969)	2000
2	Lin (Purdue)	Lin, Farley and Orville (1983, JCAM)	2000
3	WSM3	Hong, Dudhia and Chen (2004, MWR)	2004
4	WSM5	Hong, Dudhia and Chen (2004, MWR)	2004
5	Eta (Ferrier)	Rogers, Black, Ferrier, Lin, Parrish and DiMego (2001, web doc)	2000
6	WSM6	Hong and Lim (2006, JKMS)	2004
7	Goddard	Tao, Simpson and McCumber (1989, MWR)	2008
8 (+98)	Thompson (+old)	Thompson, Field, Rasmussen and Hall (2008, MWR)	2009
9	Milbrandt 2-mom	Milbrandt and Yau (2005, JAS)	2010
10	Morrison 2-mom	Hong and Pan (1996, MWR)	2008
14	WDM5	Lim and Hong (2010,...)	2009
16	WDM6	Lim and Hong (2010,...)	2009

Microphysics schemes can be broadly categorized into two types:

Detailed (bin)



bulk



Representation of particle size distribution

Bulk schemes predict one or more bulk quantities (e.g., mixing ratio) and assume some functional form for the particle size distribution, e.g., gamma distribution:

$$n(D) = N_0 D^\mu e^{-\lambda D}$$

If N_0 and μ are specified, then λ can be obtained from the predicted mixing ratio q :

$$q = \int_0^{\infty} \frac{\pi}{6} \rho_w N_0 D^{3+\mu} e^{-\lambda D} dD$$

$$\lambda = \left[\frac{\pi \rho_w N_0 \Gamma(\mu + 4)}{6q} \right]^{\frac{1}{\mu+4}}$$

Equations for
isometric particle
shapes

Liquid microphysics – Kessler (1969)

- Separate liquid into cloud water and rain
- Marshall-Palmer distribution for rain

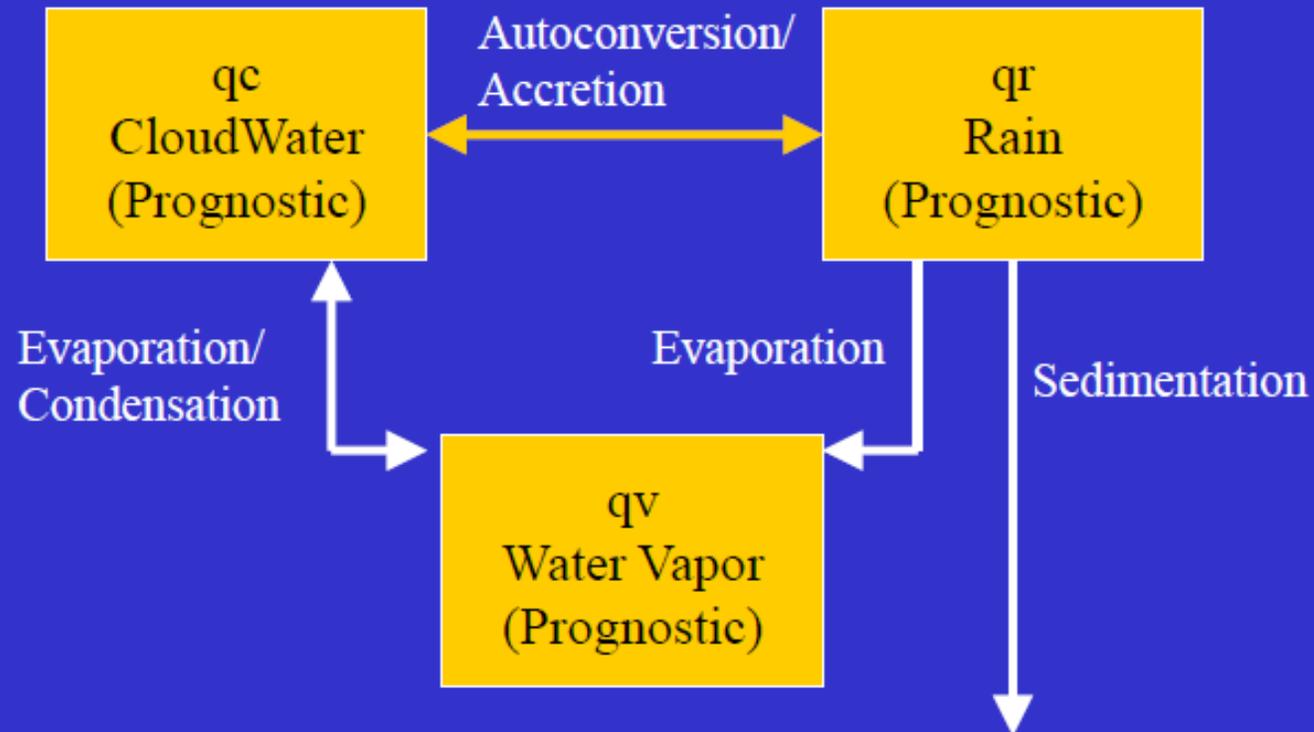
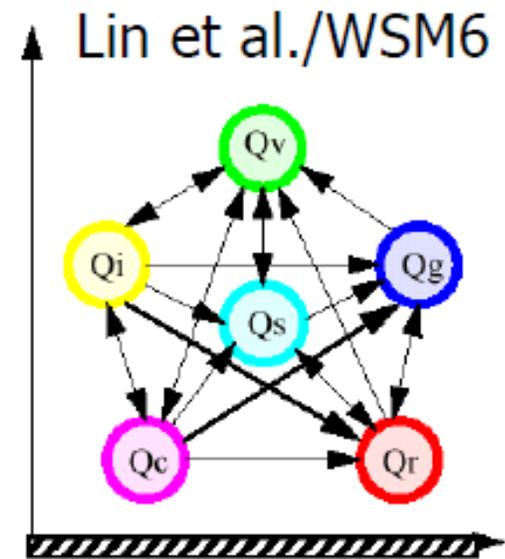
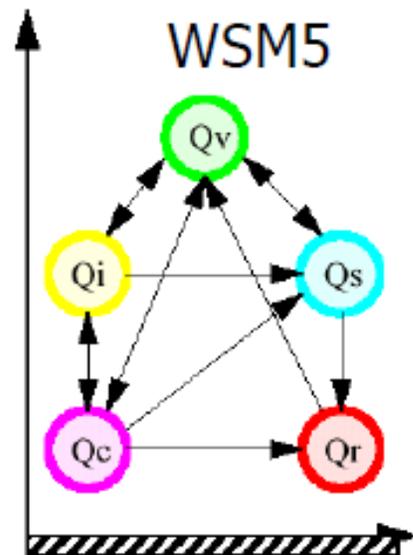
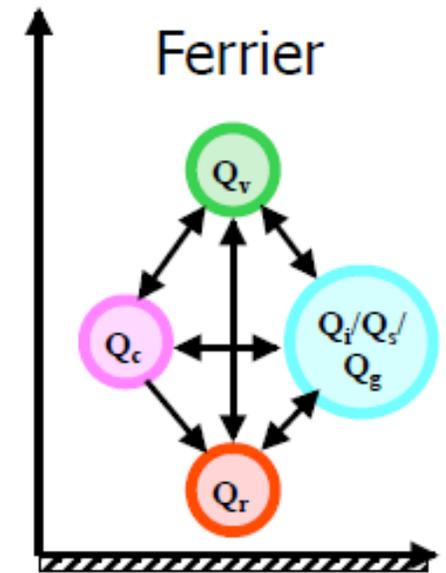
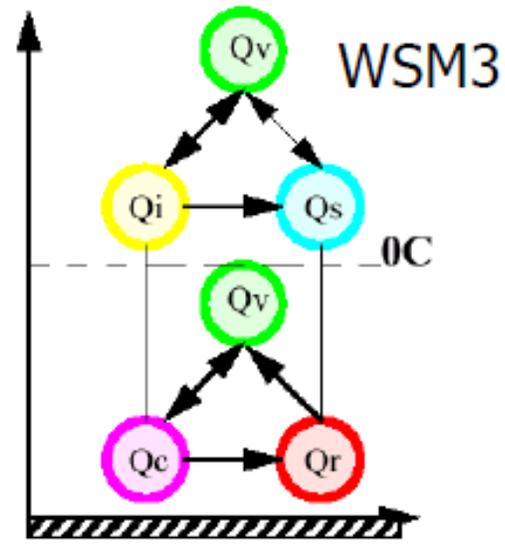
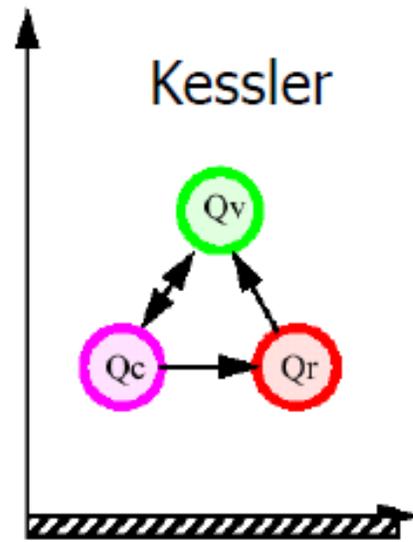


Illustration of Microphysics Processes

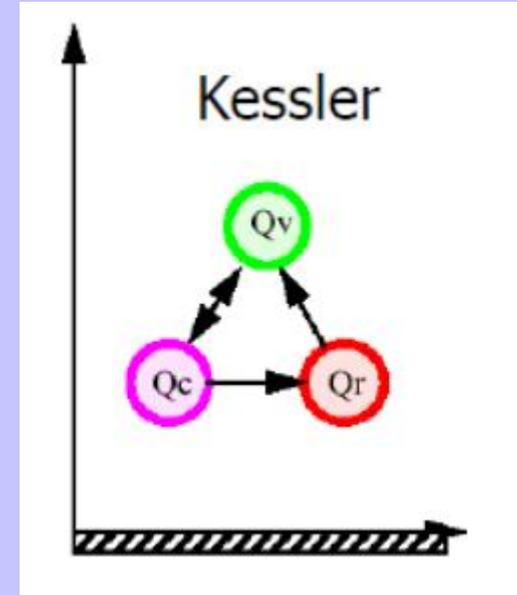


ARW only

$mp_physics=1$

Kessler scheme

- Warm rain – no ice
- Idealized microphysics
- Time-split rainfall



Параметризация Кесслера

Это самая простая параметризация, изложенная в работе Кесслера [34] и учитывающая облака и осадки только в жидкой фазе. Облачность характеризуется только водностью q_{cw} , а осадки считаются распределенными в соответствии с формулой Маршалла-Пальмера

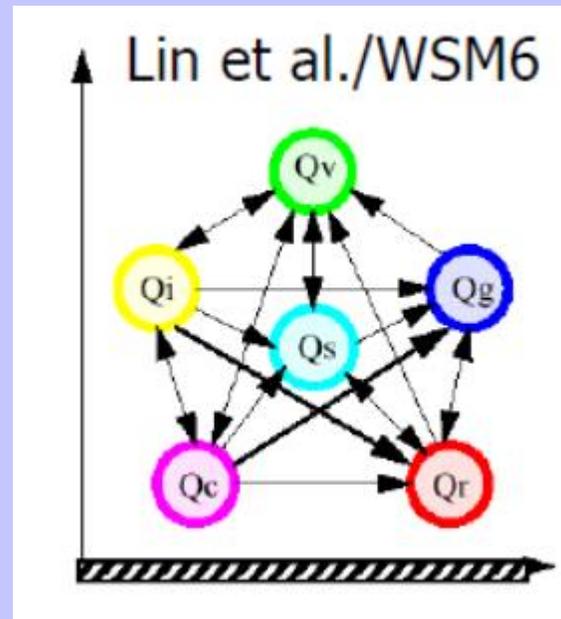
$$N = N_0 \exp(-\lambda D), \quad (24)$$

где N_0 — пересечение, имеющее размерность m^{-4} , λ — наклон распределения, имеющий размерность m^{-1} , D — диаметр капель. Таким образом, в распределении (24) при задании N_0 имеется только один свободный параметр λ и параметризация является одномоментной: прогностическое уравнение решается только для третьего момента распределения — водности осадков q_r . Так как облака и осадки существуют только в жидкой фазе, в процедуре конденсационного приспособления и других процедурах насыщение рассчитывается над водой. В параметризации представлено три микрофизических процесса: автоконверсия (переход облачной воды в осадки после достижения некоторой пороговой водности облаков q_{cw0}), аккреция (захват каплями падающих осадков капель облачности) и испарение выпадающих осадков. Детали параметризации можно найти в работе Кесслера [34].

mp_physics=2

Purdue Lin et al. scheme

- 5-class microphysics including graupel
- Includes ice sedimentation and time-split fall terms



Параметризация Линя

Эта параметризация названа в моделях WRF по имени первого автора работы Линь и др. (40), хотя в ней использованы алгоритмы из многих предыдущих работ, среди которых будут упомянуты лишь некоторые.

В параметризации имеется 5 классов гидрометеоров, которые характеризуются соответствующими удельными долями влаги: водностью облаков, ледностью облаков q_{ci} , водностью дождя, ледностью снега q_s и ледностью крупы (граупелей) q_g . Прогностические уравнения решаются для q_r , q_s , q_g и q , где $q = q_v + q_{cw} + q_{ci}$. Частицы облаков считаются монодисперсными, а частицы дождя, снега и крупы — распределенными по формуле (24), но с разными пересечениями для каждого вида осадков.

Первоначальная гипотеза о конденсации над водой при температурах выше -40°C была заменена гипотезой гибридного насыщения Лорда [42], которую затем развили в своей работе Тао и МакКамбер [71]. Смысл гибридного насыщения состоит в том, что в диапазоне температур от 0°C до $T = T_{00}$ (T_{00} принимается обычно равной от -30 до -40°C) происходит линейное изменение удельной водности насыщения от ее значений над водой q_{sw} до значений насыщения надо льдом q_{si} . Все гидрометеоры считаются сферическими. Дождь, снег и крупа отличаются только плотностью. В параметризации представлены следующие процессы.



Образование кристаллической облачности, таяние кристаллической облачности и переход ее в капельную при положительных температурах, рост ледяной фазы облаков вследствие отложения на кристаллах облачной воды, однородное замерзание облачной воды и превращение ее в лед.

Процессы, связанные с образованием (исчезновением) дождя, включают автоконверсию капельной облачности в дождь, аккрецию каплями дождя облачных капель, аккрецию облачного льда дождем, аккрецию дождя облачными кристаллами и испарение дождя.

Процессы, приводящие к образованию (вымыванию) снега включают в себя автоконверсию облачных кристаллов в кристаллы снега, аккрецию снега дождем, аккрецию дождя снегом, аккрецию облачной воды снегом, аккрецию облачного льда снегом, обзернение частиц снега, отложение водяного пара на частицах снега и испарение снега, таяние снега.

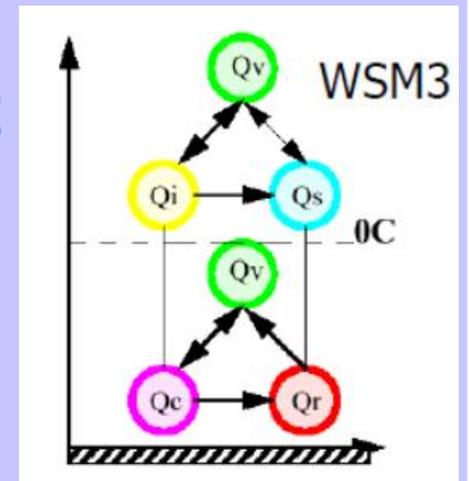
Процессы, приводящие к образованию (вымыванию) крупы включают автоконверсию снега в крупу, однородное (иммерсионное) замерзание дождя, аккрецию облачной воды и снега крупой, испарение и таяние крупы.

ARW only

mp_physics=3

WSM 3-class scheme

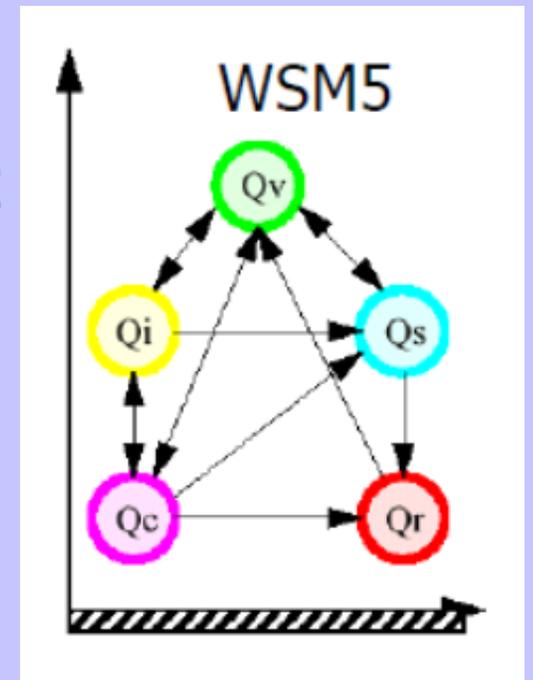
- From Hong, Dudhia and Chen (2004)
- Replaces NCEP3 scheme
- 3-class microphysics with ice
- Ice processes below 0 deg C
- Ice number is function of ice content
- Ice sedimentation
- Semi-lagrangian fall terms in V3.2



mp_physics=4

WSM 5-class scheme

- Also from Hong, Dudhia and Chen (2004)
- Replaces NCEP5 scheme
- 5-class microphysics with ice
- Supercooled water and snow melt
- Ice sedimentation
- Semi-lagrangian fall terms in V3.2



mp_physics=14

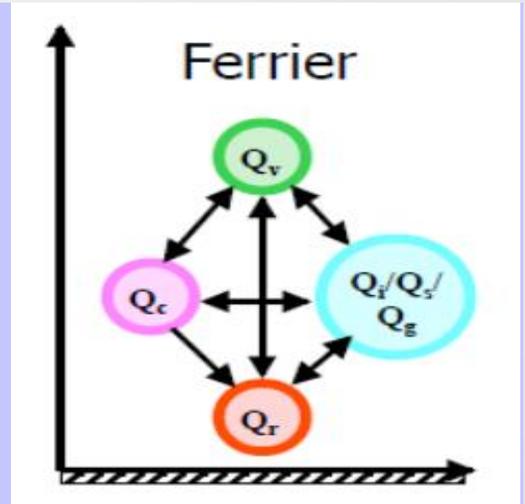
WDM 5-class scheme

- Version of WSM5 that is double-moment for warm rain processes
- 5-class microphysics with ice
- CCN, and number concentrations of cloud and rain also predicted

mp_physics=5

Ferrier (current NAM) scheme

- Designed for efficiency
 - Advection only of total condensate and vapor
 - Diagnostic cloud water, rain, & ice (cloud ice, snow/graupel) from storage arrays – assumes fractions of water & ice within the column are fixed during advection
- Supercooled liquid water & ice melt
- Variable density for precipitation ice (snow/graupel/sleet) – “rime factor”
- mp_physics=85 (nearly identical) for HWRF



Параметризация Ферьера

В Руководстве для пользователей WRF-NMM при упоминании этой параметризации делается ссылка на работу Ферьера и др. [15]. Эта работа представляет собой доклад небольшого объема на конференции, в котором полностью отсутствует формальный текст и дано лишь общее описание схемы. Ниже будет приведена информация, содержащаяся в этом докладе.

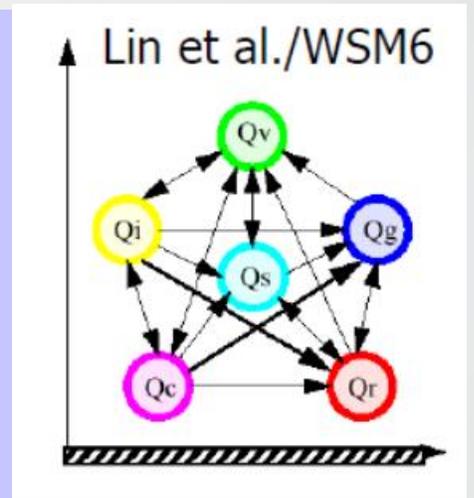
Параметризация была разработана для модели Eta, она известна также как Eta Ferrier или EGCP01 (Eta Grid-scale Cloud and Precipitation). Затем она была перенесена в модель WRF.

Прогностическими переменными в ней являются водяной пар, облачная вода, дождь и лед. Лед состоит из облачного и осаждающегося. Осадки в жидкой и кристаллической фазах распределены по (24), но пересечения являются переменными. Способ их определения не приведен. Прогностические уравнения решаются для удельной влажности и общего конденсата. Внутри микрофизического блока определяются доли водности и ледности облаков и осадков, составляющих общий конденсат. Конденсация (испарение) и отложение (сублимация) рассчитываются с использованием гибридной удельной влажности насыщения [71]. В микрофизической схеме параметризуются следующие процессы: переход облачной воды в дождь, испарение дождя, таяние льда, аккреция облачной воды льдом, замерзание дождя, конденсация воды на тающем льде, испарение влажного тающего снега. Осадки у поверхности Земли даются в виде дождя, замерзающего дождя, снега в виде хлопьев, крупы и мокрого снега. Вид осадков определяется по их плотности и температуре воздуха.

mp_physics=6

WSM 6-class scheme

- From Hong and Lim (2006, JKMS)
- 6-class microphysics with graupel
- Ice number concentration as in WSM3 and WSM5
- New combined snow/graupel fall speed
- Semi-lagrangian fall terms



mp_physics=16

WDM 6-class scheme

- Version of WSM6 that is double-moment for warm rain processes
- 6-class microphysics with graupel
- CCN, and number concentrations of cloud and rain also predicted

Параметризации WSM3, WSM5 и WSM6

Эти параметризации родственны, описаны в доступных статьях с разной степенью детальности, поэтому объединены под общим заголовком. Они базируются на модифицированных параметризациях Ратледжа и Хоббса [62, 63] для облачности и осадков в смешанной фазе. Эти параметризации предназначались первоначально для региональной спектральной модели, поэтому названы сокращенно WSM (Water for Spectral Model). Добавление цифры указывает количество гидрометеоров, включенных в параметризацию, причем в число гидрометеоров включен и водяной пар.

Параметризация WSM3 изложена в работе Хонга [20]. Она представляет собой существенную модификацию параметризации Дудья [12], которая, в свою очередь, является сильно упрощенной параметризацией Ратледжа и Хоббса. Основное упрощение в параметризации Дудья состоит в том, что при температуре $T \geq 0^\circ\text{C}$ облачность и осадки предполагаются существующими только в жидкой фазе, а при $T < 0^\circ\text{C}$ они могут быть исключительно в твердой фазе. При переходе через нулевую изотерму происходит мгновенное замерзание и таяние гидрометеоров. Таким образом, в каждой точке области может существовать только 3 типа гидрометеоров: q_v , q_{ci} , q_s при $T < 0$ и q_v , q_{ew} , q_r при $T \geq 0^\circ\text{C}$.

В параметризации WSM3 эта гипотеза сохранена (отсюда цифра 3). Распределение облачных капель и кристаллов считается монодисперсным, а частицы снега и дождя распределены по (24), в которой значения N_0 для снега (N_{0s}) и для дождя (N_{0r}) являются разными. При $T \geq 0^\circ\text{C}$ насыщение рассчитывается над водой, а при $T < 0^\circ\text{C}$ — над льдом.

Основные нововведения в параметризациях WSM связаны с образованием облачных кристаллов и их дальнейшей эволюцией. Вместо формулы Флетчера [16] введены новые формулы для роста концентрации облачных частиц и скорости их гравитационного оседания. Эволюция кристаллической облачности происходит под действием отложения на ней водяного пара или испарения. Учитывается аккреция облачного льда частицами снега и автоконверсия облачных кристаллов в частицы снега. Рост снега за счет отложения водяного пара или его сублимация производится по формулам из работы Ратледжа и Хоббса [62]. Переход облачной воды в осадки рассчитывается по формуле из работы Триполи и Коттона [75]. В параметризации учитываются также процессы испарения жидких осадков, однородного замерзания и таяния облаков и осадков.

Описания параметризаций WSM5 и WSM6 практически отсутствуют. Очевидно, что в этом случае снимаются ограничения на разделение фаз нулевой изотермой, предполагается существование смешанных фаз для облаков и осадков с добавлением процессов, присутствовавших в параметризации Ратледжа и Хоббса. В этом случае, действительно, существует 5 типов гидрометеоров: q_v , q_{cw} , q_{ci} , q_r , q_s .

При упоминании параметризации WSM6 в Руководстве для пользователей делаются ссылки на статью Линя и др. [40] и Дудья [12]. В последней работе о шестикомпонентной схеме речи вообще не идет. Остается предположить, что по сравнению с WSM5 в схему WSM6 вводится крупа и добавляются соответствующие микрофизические процессы.

ARW only

mp_physics=7

Goddard 6-class scheme

- From Tao et al.
- 6-class microphysics with graupel
- Based on Lin et al. with modifications for ice/water saturation
- gsfcgce_hail switch for hail/graupel properties
- gsfcgce_2ice switch for removing graupel or snow processes
- Time-split fall terms with melting

Параметризация Центра им. Годдарда

Эта параметризация называется схемой ансамбля конвективных облаков. Она является одномоментной и была разработана Тао и Симпсон [72] на базе параметризаций Линя и др. [40] и Ратледжа и Хоббса [63]. В схему введено несколько модификаций. Во-первых, в ней имеется возможность выбора граупелей или града [45]. Во-вторых, используется методика расчета насыщения, предложенная в работах Тао и МакКамбера [71, 73]. Эта методика обеспечивает невозможность существования насыщения при отсутствии облаков и ненасыщения при наличии облачности. В-третьих, все микрофизические процессы, не связанные с переходом одного типа гидрометеоров в другой (таянием, испарением или сублимацией), рассчитываются на основе термодинамического состояния. Это обеспечивает единообразный расчет всех процессов.

mp_physics=8

New Thompson et al. scheme in V3.1

- Replacement of Thompson et al. (2007) scheme that was option 8 in V3.0
- 6-class microphysics with graupel
- Ice and rain number concentrations also predicted (double-moment ice)
- Time-split fall terms

mp_physics=98

Old Thompson et al. 2007 graupel scheme

- From Thompson et al. (2007)
- Was option 8 in Version 3.0
- 6-class microphysics with graupel
- Ice number concentration also predicted (double-moment ice)
- Time-split fall terms

Параметризация Томпсона

Параметризация Томпсона и др. [74] представляет собой модификацию параметризации Райзнера и др. [61], которая используется в модели MM5. Для модификации использован вариант 4 этой схемы, в котором в качестве прогностических переменных используются q_v , q_{cw} , q_{ci} , q_r , q_s , q_g , а также концентрация облачных кристаллов N_i . Частицы дождя и снега предполагаются распределенными по (24). Пересечение для снега N_{0s} задается функцией температуры в соответствии с экспериментальными данными Хаузи и др. [21], а пересечение для частиц дождя N_{0r} сделано функцией водности жидких осадков с тем, чтобы обеспечить малые скорости гравитационного оседания капель при малой водности осадков. Крупа задается Γ -распределением.

Образование ледяных облачных частиц под действием нуклеации параметризуется с использованием формулы Купера [10], базирующейся на прямом измерении концентрации кристаллов в зависимости от температуры. Учитывается также образование облачных кристаллов вследствие гетерогенного и гомогенного замерзаний облачных капель. Параметризуется увеличение концентрации облачных кристаллов



вследствие их дробления при столкновении, рост облачных кристаллов из-за отложения на них водяного пара и обзернения.

При образовании снега учитывается переход облачных кристаллов в снег под действием отложения, аккреции и агрегации. Учитывается также таяние и сублимация снега.

При образовании крупы параметризуется переход облачного льда в крупу с использованием формулы из работы Икавы и Саито [22], а также ряд фазовых переходов при взаимодействии различных частиц: столкновении капель дождя и облачных кристаллов, захвате облачными кристаллами капель дождя, обзернении снега облачной водой, захвате снегом облачной воды и дождя. Кроме этого учитывается образование крупы вследствие замерзания дождя и ее эволюции под действием отложения (сублимации) и таяния.

При образовании дождя учитывается переход облачной воды в дождевую (автоконверсия), который рассчитывается по формуле Уолко и др. [77], захват дождем капельной облачности и испарение дождя.

ARW only

mp_physics=9

Milbrandt-Yau 2-moment scheme

- New in Version 3.2
- 7-class microphysics with separate graupel and hail
- Number concentrations predicted for all six water/ice species (double-moment) - 12 variables
- Time-split fall terms

ARW only

mp_physics=10

Morrison 2-moment scheme

- Since Version 3.0
- 6-class microphysics with graupel
- Number concentrations also predicted for ice, snow, rain, and graupel (double-moment)
- Time-split fall terms

Параметризация Моррисона и др.

Схема Моррисона и др. [52] базируется на двухмоментной параметризации микрофизики [50, 51]. В ней учитывается пять типов гидрометеоров: облачные капли и кристаллы, дождь, снег и граупели (град). Прогностическими переменными являются концентрации и отношения смеси для облачных кристаллов, дождя, снега и граупелей (града) и отношения смеси для облачных капель и водяного пара (решается 10 прогностических уравнений). Прогноз двух моментов (концентрации и отношения смеси) позволяет более робастное представление распределения частиц по размерам. Это распределение задается гамма-распределением, пересечение и наклон которого получаются по прогнозируемым концентрациям и отношениям смеси гидрометеоров.

ARW only

no_mp_heating=1

- Turn off heating effect of microphysics
 - Zeroes out the temperature tendency
 - Equivalent to no latent heat
 - Other microphysics processes not affected
 - Since Version 3.0

mp_zero_out

Microphysics switch (also mp_zero_out_thresh)

- 1: all values less than threshold set to zero (except vapor)
- 2: as 1 but vapor also limited ≥ 0
- Note: this option will not conserve total water
- Not needed when using positive definite advection
- NMM: Recommend mp_zero_out=0

nphs

- Time steps between microphysics calls
- Same as parameter for turbulence/PBL/LSM
- Typical value is chosen to give a frequency of 1-3 minutes, i.e. $60/dt$ to $180/dt$

Microphysics Options

Recommendations about choice

- Probably not necessary to use a graupel scheme for $dx > 10$ km
 - Updrafts producing graupel not resolved
 - Cheaper scheme may give similar results
- When resolving individual updrafts, graupel scheme should be used
- All domains use same option

Microphysics Options

Recommendations about choice (continued)

- Hurricanes may be sensitive to microphysics choice (fall-speed and radiation effects)
- Note that with model top < 5 hPa schemes may give spurious clouds unless saturation formula is fixed
 - WSM, WDM and Morrison schemes are being fixed for next bug-fix release

Rainfall Output

- Cumulus and microphysics can be run at the same time
- ARW outputs rainfall accumulations since simulation start time (0 hr) in mm
- RAINC comes from cumulus scheme
- RAINNC comes from microphysics scheme
- Total is RAINC+RAINNC
 - RAINNCV is time-step value
 - SNOWNC/SNOWNCV are snow sub-set of RAINC/RAINNCV (also GRAUPELNC, etc.)

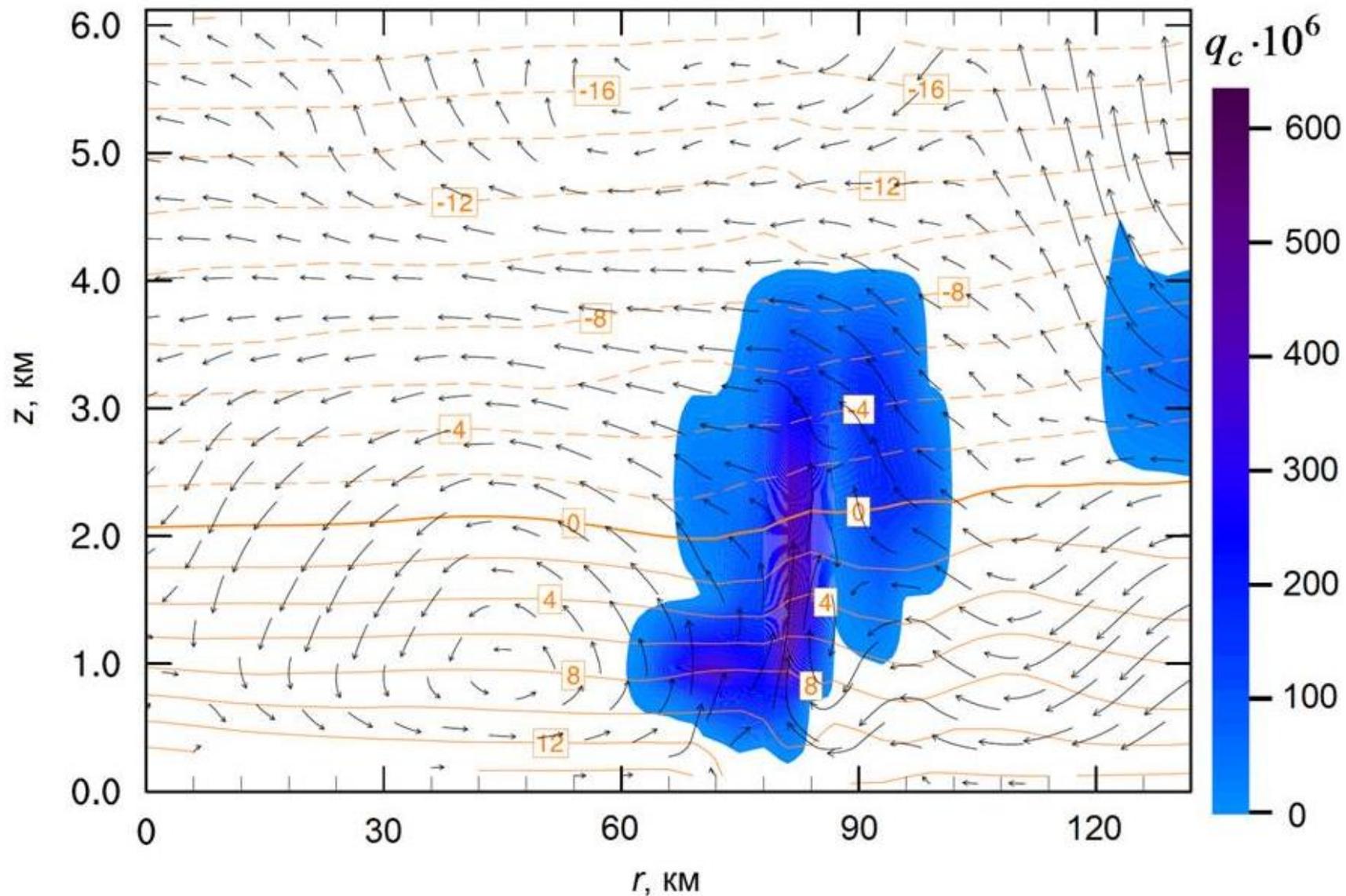
Rainfall Output

Options for “buckets”

- `prec_acc_dt` (minutes) - accumulates separate `prec_acc_c`, `prec_acc_nc`, `snow_acc_nc` in each time window (we recommend `prec_acc_dt` is equal to the wrf output frequency to avoid confusion)
- `bucket_mm` - separates `RAIN(N)C` into `RAIN(N)C` and `I_RAIN(N)C` to allow accuracy with large totals such as in multi-year accumulations
 - $\text{Rain} = \text{I_RAIN(N)C} * \text{bucket_mm} + \text{RAIN(N)C}$
 - `bucket_mm` = 100 mm is a reasonable bucket value
 - `bucket_J` also for CAM and RRTMG radiation budget terms (1.e9 J/m² recommended)

Rainfall Output

- Cumulus and microphysics can be run at the same time
- NMM outputs rainfall accumulations in mm
- TPREC controls zeroing out frequency
- ACPREC is the total precipitation
- CUPREC is the part that comes from the cumulus scheme
- The microphysics part is $ACPREC - CUPREC$



Пример. Отношение смеси для жидких частиц облачности, поле скорости ветра и изотермы для вертикального сечения фрагмента области 3 на 12:00, 9.08.2005 г.

Основная литературная ссылка

**Численные прогнозы погоды по негидростатическим
моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM**

Н.Ф. Вельтищев, В.Д. Жупанов

Гидрометцентр России



Спасибо за внимание !

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

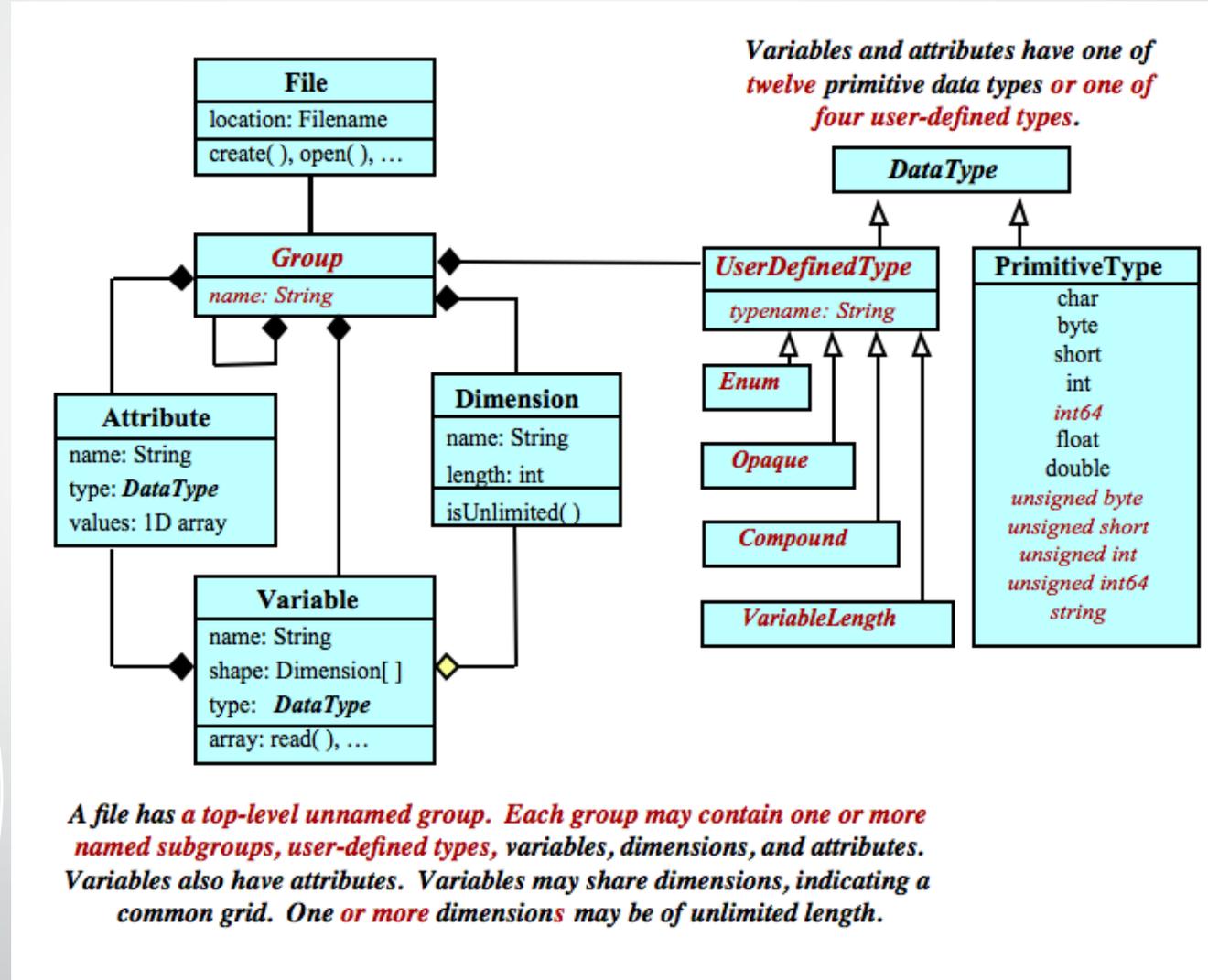
**ТЕМА 8. СИСТЕМЫ ПОСТПРОЦЕССОРНОЙ ОБРАБОТКИ И
ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

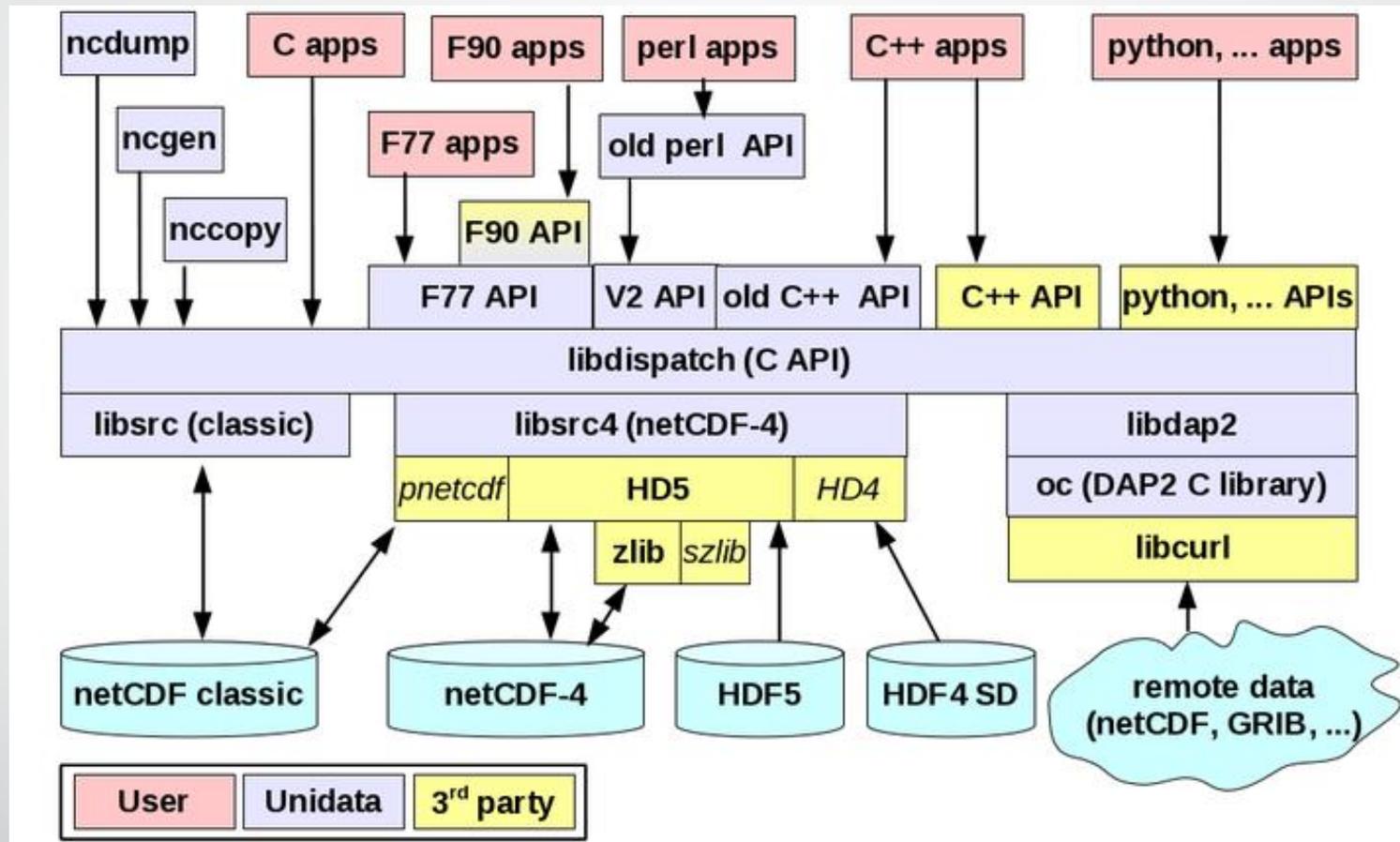
Модель данных

Набор данных netCDF содержит размеры, переменные и атрибуты, которые имеют как имя, так и идентификационный номер, с помощью которого они идентифицируются. Эти компоненты могут использоваться вместе, чтобы фиксировать значение данных и отношений между полями данных в массиве-ориентированном наборе данных. Библиотека netCDF обеспечивает одновременный доступ к множеству наборов данных netCDF, которые идентифицируются идентификационными номерами наборов данных, в дополнение к обычным именам файлов.

Набор данных netCDF содержит размеры, переменные и атрибуты, которые имеют как имя, так и идентификационный номер, с помощью которого они идентифицируются. Эти компоненты могут использоваться вместе, чтобы фиксировать значение данных и отношений между полями данных в массиве-ориентированном наборе данных. Библиотека netCDF обеспечивает одновременный доступ к множеству наборов данных netCDF, которые идентифицируются идентификационными номерами наборов данных, в дополнение к обычным именам файлов.



Архитектура библиотеки NetCDF



Для визуализации и обработки данных в формате NetCDF существует множество утилит, в том числе: CDO (Climate Data Operators), ncview, Panoply, GMT, GrADS, NCL, NCO. Библиотеки netCDF поддерживают несколько двоичных реализаций (форматов) для файлов netCDF.

Классический формат использовался в первой версии библиотеки и все еще является форматом по умолчанию при создании файлов.

В версии библиотеки 3.6.0 был введен формат с 64-разрядными смещениями, что позволило поддерживать файлы большего размера.

Гибридный формат netCDF-4/HDF5 введен в библиотеке версии 4.0; он является файлом формата HDF5 с рядом дополнительных ограничений.

Формат HDF4 SD может использоваться в режиме «только для чтения».

Формат CDF5 поддерживается в координации с проектом «parallel-netcdf».

Все форматы содержат метаданные, описывающие размещение данных внутри файла. Каждый файл содержит универсальный заголовок, который описывает структуру последующего файла, массивы сохраненные в нем и набор пар ключ-значение для хранения произвольных атрибутов. Формат является платформенно-независимым. Хранение данных позволяет производить быструю выборку поднаборов данных.

Интерфейс netCDF

Общая форма данных сети или netCDF является интерфейсом к библиотеке функций доступа к данным для хранения и извлечения данных в виде массивов.

NetCDF - это абстракция, которая поддерживает представление данных как совокупность самоописывающих, переносных объектов, к которым можно получить доступ через простой интерфейс. Доступ к значениям массива можно получить напрямую, не зная подробных сведений о том, как хранятся данные. Вспомогательная информация о данных, например, какие устройства используются, может храниться вместе с данными. Общие утилиты и прикладные программы могут обращаться к наборам данных netCDF и преобразовывать, комбинировать, анализировать или отображать определенные поля данных. Разработка таких приложений привела к улучшению доступности данных и улучшению повторного использования программного обеспечения для управления массивами, анализа и отображения массивов.

Типы внешних данных

Атомные внешние типы, поддерживаемые интерфейсом netCDF:

- [NC_BYTE](#) 8-разрядное целое число со [знаком](#)
- [NC_UBYTE](#) 8-разрядное целое без знака
- [NC_CHAR](#) 8-разрядный байт символа
- [NC_SHORT](#) 16-разрядное целое число со [знаком](#)
- [NC_USHORT](#) 16-разрядное целое без знака *
- [NC_INT](#) (или [NC_LONG](#)) 32-разрядное целое число со [знаком](#)
- [NC_UINT](#) 32-разрядное целое без знака *
- [NC_INT64](#) 64-битное целое число со [знаком](#) *
- [NC_UINT64](#) 64-разрядное целое без знака *
- [NC_FLOAT](#) 32-битная плавающая точка
- [NC_DOUBLE](#) 64-разрядная плавающая точка
- [NC_STRING](#) символьная строка переменной длины +

Если требуется преобразование в или из внешнего числового типа, оно обрабатывается библиотекой.

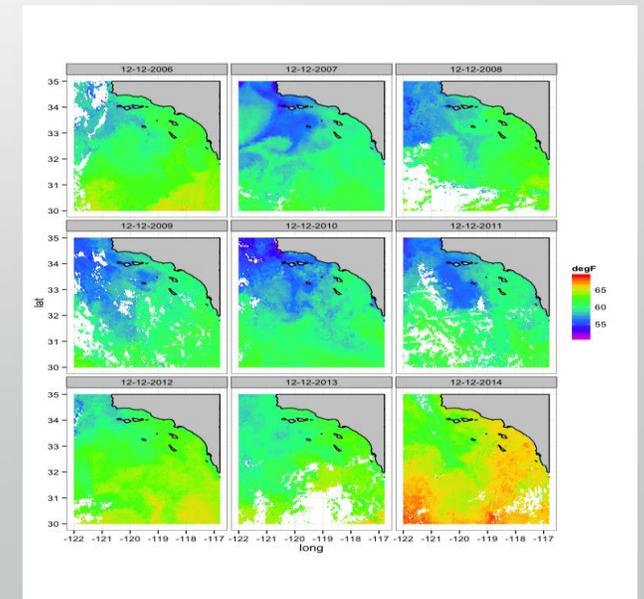
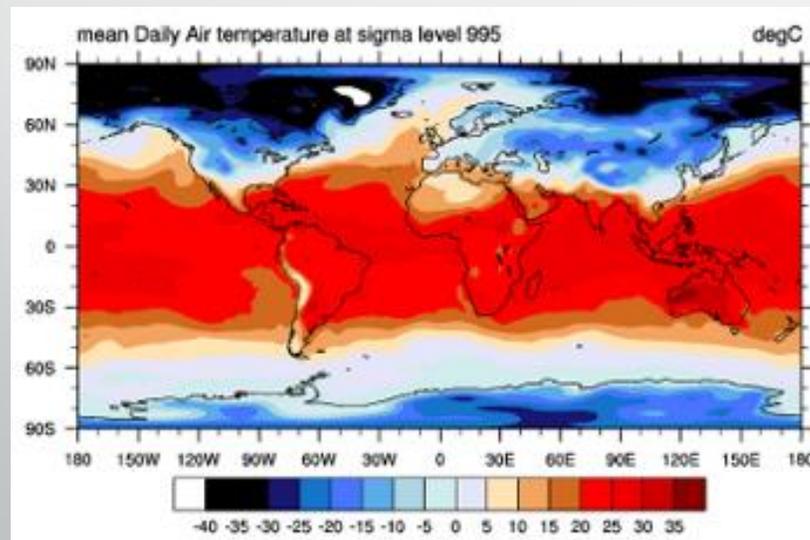
NCL — язык программирования для наук о Земле

Задача: проводить анализ гео-данных и их визуализацию средствами одного инструмента

Инструмент: *NCL (NCAR Command Language)*.

Моделирование атмосферы, океана а также других элементов земной системы уже в начале 90х годов было развито довольно хорошо и стало производить такое количество данных, что для обработки всего этого комплекса переменных потребовалось создать специальный язык.

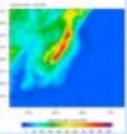
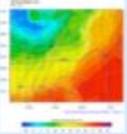
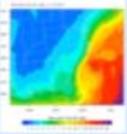
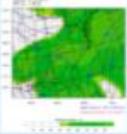
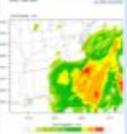
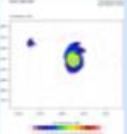
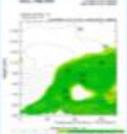
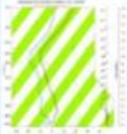
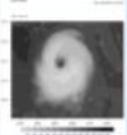
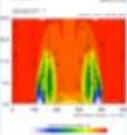
NCL это интерпретируемый, объектно-ориентированный язык программирования, который предназначен специально для людей занимающихся анализом данных привязанных на сетку связанную с географическими координатами, попросту говоря с Землей, и в особенности модельеров.



Создание сюжетов:

<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/OnLineTutorial/Graphics/NCL/index.html>

Открывается сценарий,
который можно себе
скачать и использовать.

<p>Basic Plots</p>  <p>Basic Plot Setup (This series of examples takes users through same basic steps in generating plotting scripts.) Get and plot a single field Multiple input files</p>	<p>Basic Surface Plots</p>  <p>Surface 1 Surface 3 Surface 2</p>	<p>Plots on Model Levels</p>  <p>Clouds Levels from wrfout files Levels from metgrid files</p>	<p>Plots on Interpolated Levels</p>  <p>Height Levels Pressure Levels</p>
<p>Plotting Precipitation</p>  <p>Precipitation</p>	<p>Diagnostics</p>  <p>CAPE dRZ Vorticity (More diagnostics are available, shown are only some newer/special diagnostics)</p>	<p>Cross-section Plots</p>  <p>Height - Through a Pivot Point Height - Point A to Point B Pressure Limited Vertical Extent For 2D fields</p>	<p>Skew_T Plots</p>  <p>Skew_T</p>
<p>Speciality Plots</p>  <p>Overlay Zoom Overlay & Zoom Panel 1 Panel 2 Metograms WRF Time Series data All fields in a file</p>	<p>Preview Domain</p>  <p>This functionality, although available in NCL version 5.0.1, is still experiential.</p> <p>Preview</p>	<p>Global WRF</p>  <p>gWRF_merc</p>	<p>Idealized cases</p>  <p>wrf_Grav2x wrf_Hill2d wrf_Squall_2d_x wrf_Squall_2d_y wrf_Seabreeze2x wrf_BWave wrf_QSS</p>

СЦЕНАРИЙ

```
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
```

```
begin
```

```
  a = addfile("./geo_em.d01.nc", "r")
```

```
  wks = gsn_open_wks("pdf", "plt_ter1")
```

```
  ter = a->HGT_M(0, :, :)
```

```
  res = True
```

```
  res@cnFillOn = True
```

```
  res@gsnSpreadColors = True
```

```
  res@cnLevelSelectionMode = \  
    "ManualLevels"
```

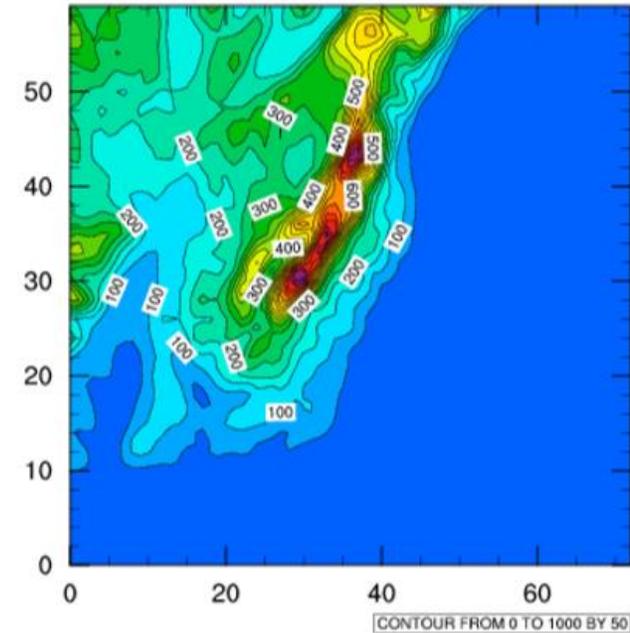
```
  res@cnMinLevelValF = 0.
```

```
  res@cnMaxLevelValF = 1000.
```

```
  res@cnLevelSpacingF = 50.
```

```
  plot = gsn_contour(wks, ter, res)
```

```
end
```



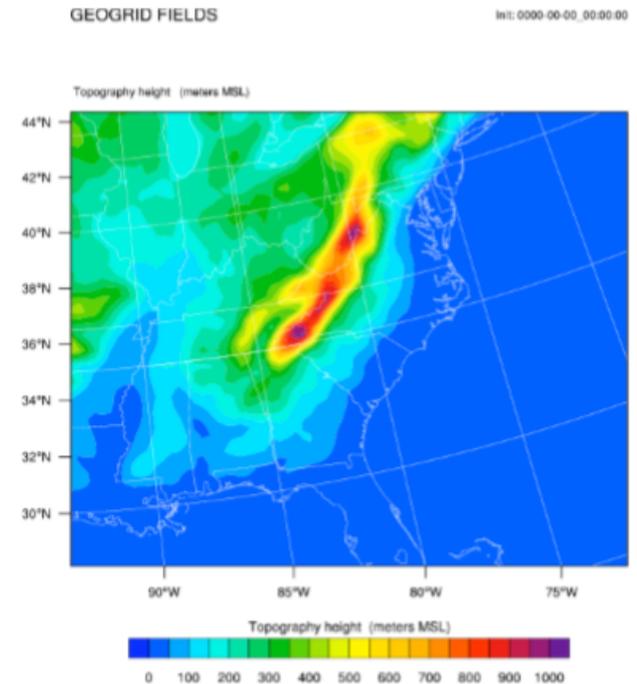
**Basic NCL resources -
there are over 1400
controlling contours,
labelbars, legends,
maps, etc.**

В базовых ресурсах NCL имеется более 1400 контрольных контуров, ярлыков, легенд, карт и т. Д.

Generate Plots

```
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"  
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/wrf/WRFUserARW Библиотека WRF
```

```
begin  
  a = addfile("./geo_em.d01.nc","r")  
  wks = gsn_open_wks("pdf","plt_ter5")  
  res = True  
  res@MainTitle = "GEOGRID FIELDS"  
  pltres = True  
  mpres = True  
  
  ter = wrf_user_getvar(a,"HGT_M",0)  
  res@cnFillOn = True  
  res@ContourParameters = (/0.,1000.,50./)  
  contour = wrf_contour(a,wks,ter,res)  
  plot = wrf_map_overlays(a,wks,(/contour/),\  
    pltres,mpres)  
end
```



Generate Plots

Переменная названа специальная функция

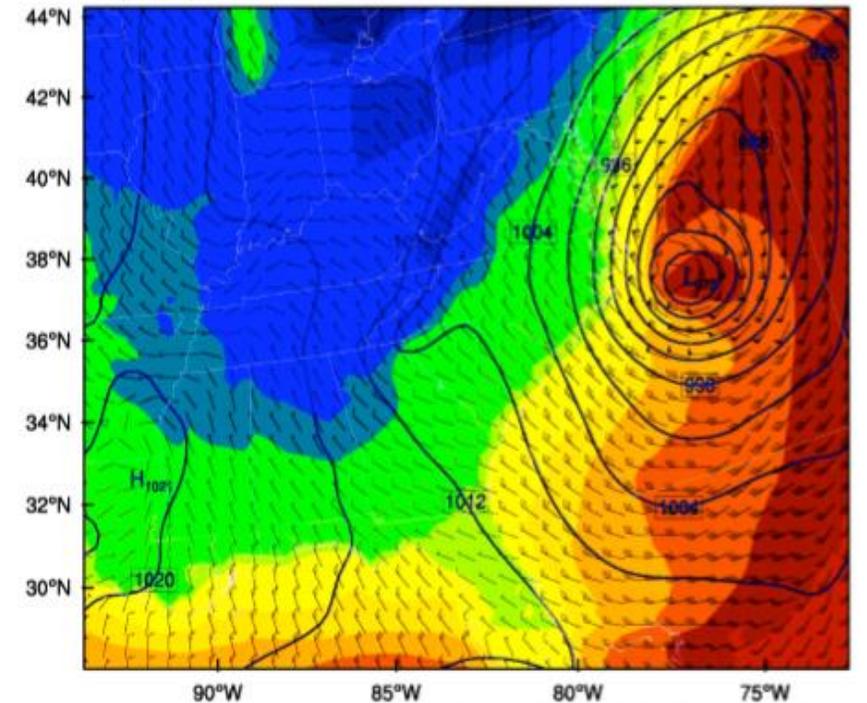
```
slp = wrf_user_getvar(a, "slp", 5)
t2  = wrf_user_getvar(a, "T2", 5)
u10 = wrf_user_getvar(a, "U10", 5)
v10 = wrf_user_getvar(a, "V10", 5)
```

```
os@cnLineColor = "NavyBlue"
c_slp = wrf_contour(a, wks, slp, os)
ot@cnFillOn = True
c_tc = wrf_contour(a, wks, t2, ot)
ov@NumVectors = 47
vec = wrf_vector(a, wks, u10, v10, ov)
```

Перекрытие

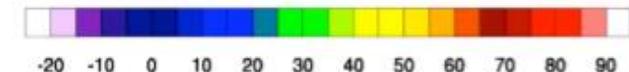
```
plot = wrf_map_overlays(a, wks, \
    (/c_tc, c_slp, vec/), pltres, mpres)
```

2m Temperature
Sea Level Pressure
Winds



Sea Level Pressure Contours: 900 to 1100 by 4

Surface Temperature (F)

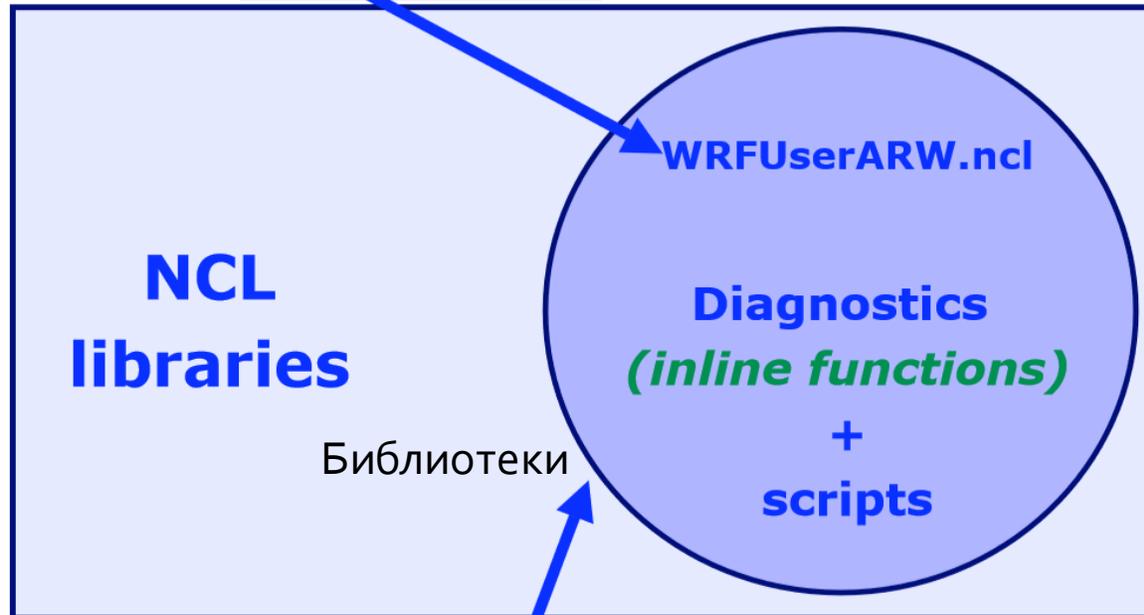


NCL & WRF

Пользовательский вариант

NCL & WRF

User Modifiable



Диагностика
(встроенные функции)



Maintain/support MMM

WRF Users' Tutorial

Mesoscale & Microscale Meteorological Division / NCAR

3

Поддержка / поддержка MMM



Спасибо за внимание!

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко

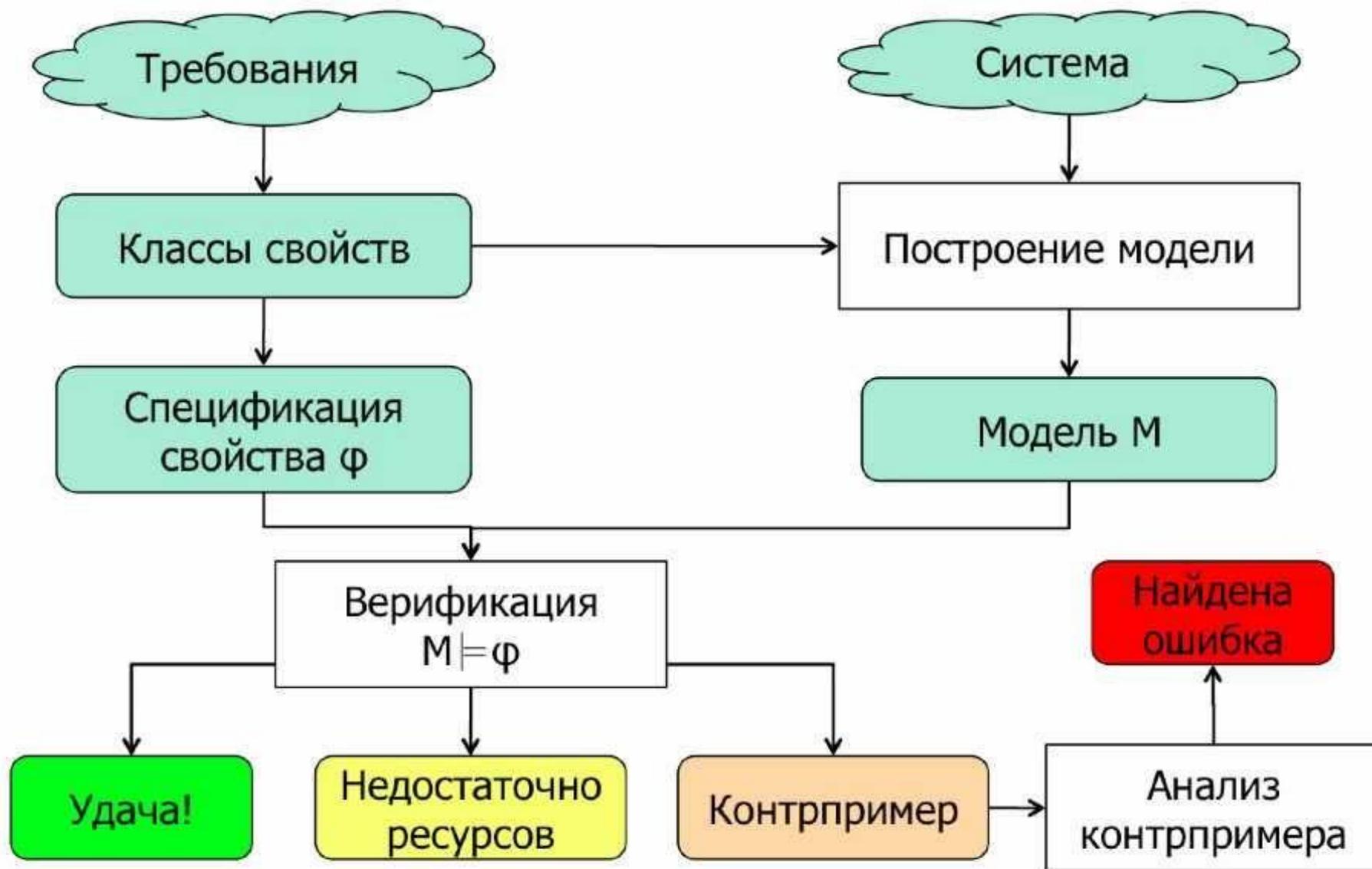


ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 9. ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ И ВАЛИДАЦИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

Схема верификации на модели

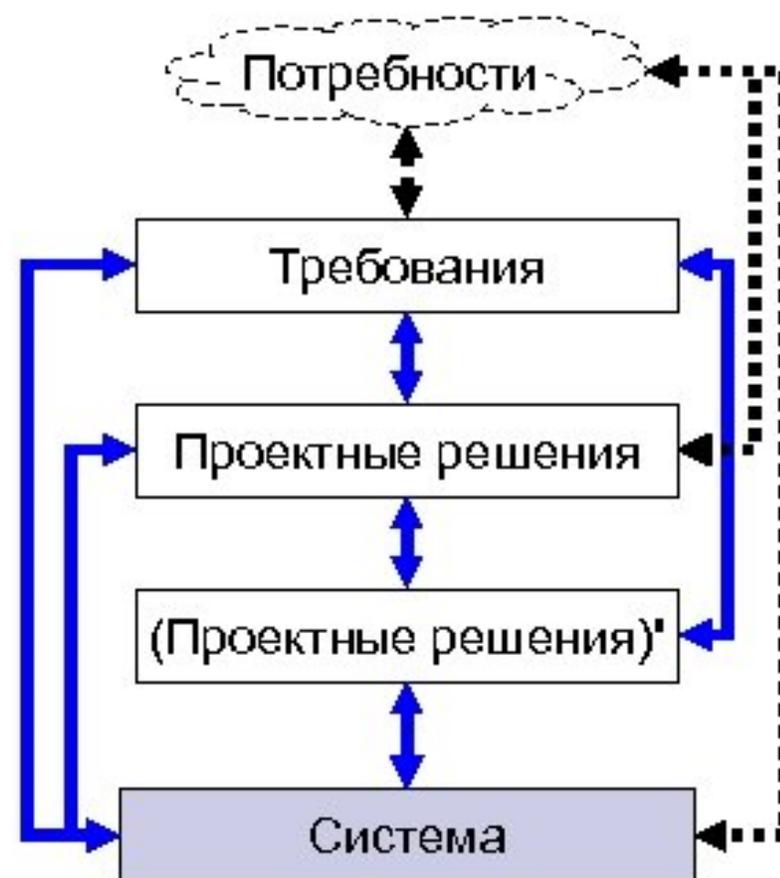


Методы верификации

- «Полное» тестирование
- Имитационное моделирование
- Доказательство теорем
- Статический анализ
- Верификация на моделях

Определение

- Верификация – проверка корректности **результатов** некоторого этапа разработки по отношению к **требованиям**, сформулированным на предыдущих этапах
- Валидация



Валидация (Validation)

- Валидация – процесс проверки того что продукт или его компоненты соответствует своему предполагаемому предназначению, находясь в предполагаемых условиях
- Валидация проверяет, что создан правильный продукт, и в итоге проверяет соответствие продукта ожиданиям заказчика
- Хорошо проведённое тестирование – обнаруживает **несоответствия** продукта ожидаемым потребностям пользователя
- Основной результат валидирования – **Улучшение** или запрос на изменение

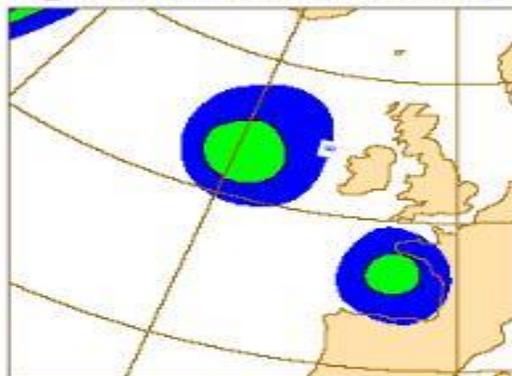
Что влияет на точность численного прогноза погоды?

- Качество начальных данных о состоянии атмосферы и поверхности Земли (наблюдений и методов их обработки)
- Разрешение модели атмосферы
(Спектральные модели: T169L31 = 169 гармоник, треугольное усечение, 31 уровень по вертикали)
- Полнота и точность параметризаций процессов подсеточного масштаба («физики»)

Роль начальных данных о состоянии атмосферы (влияние их малых возмущений на 5-сут прогноз)

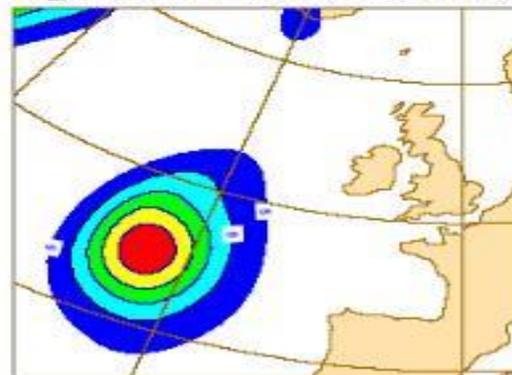
**Прогноз 1
контрольный**

FC_0 1000hPa Z 1996-12-21 12h fc t+120



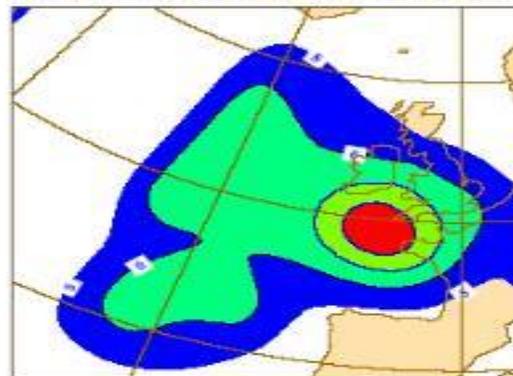
**Прогноз 3
от
возмущенных
начальных
данных**

FC_24 1000hPa Z 1996-12-21 12h fc t+120



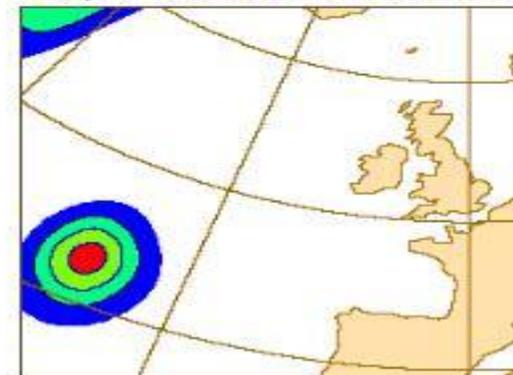
**Прогноз 2
от
возмущенных
начальных
данных**

FC_25 1000hPa Z 1996-12-21 12h fc t+120

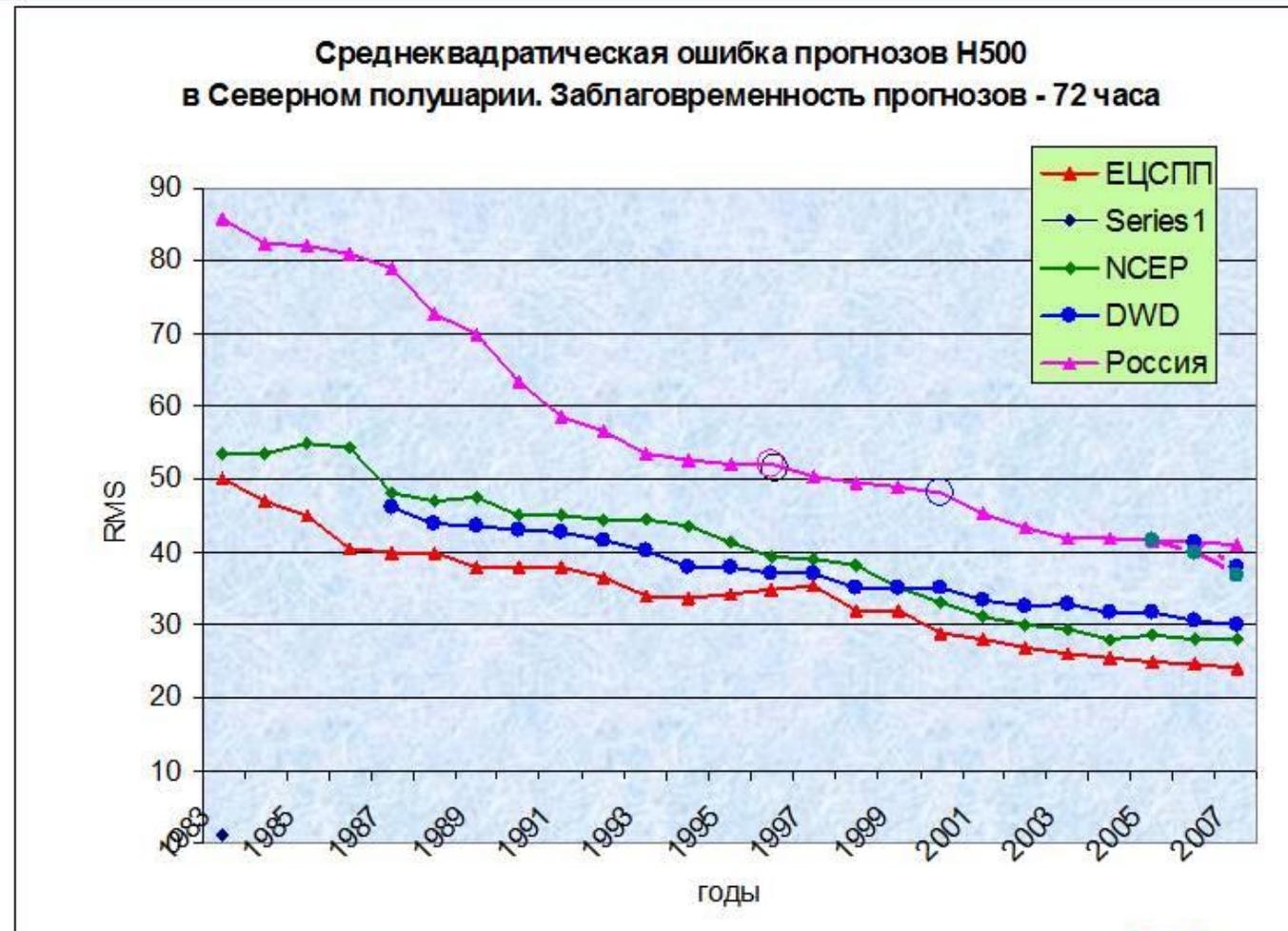


Факт

Analysis 1000hPa Z 1996-12-26 12h



Статистика ошибок численных прогнозов погоды ведущих мировых метеорологических центров





Спасибо за внимание !

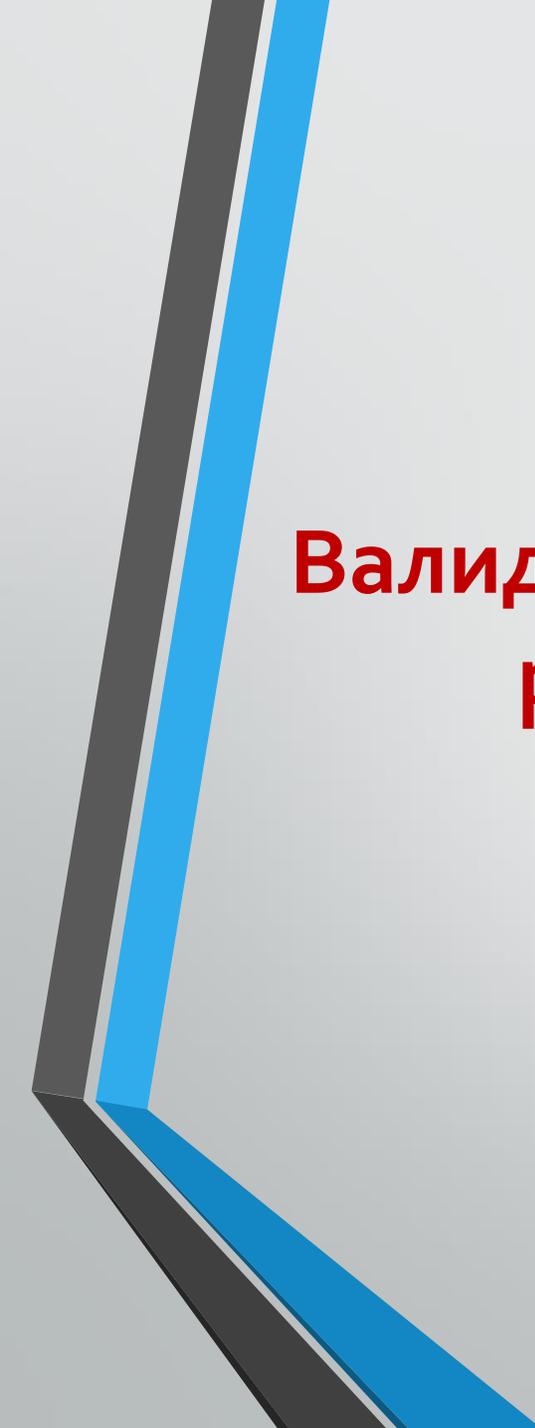
Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



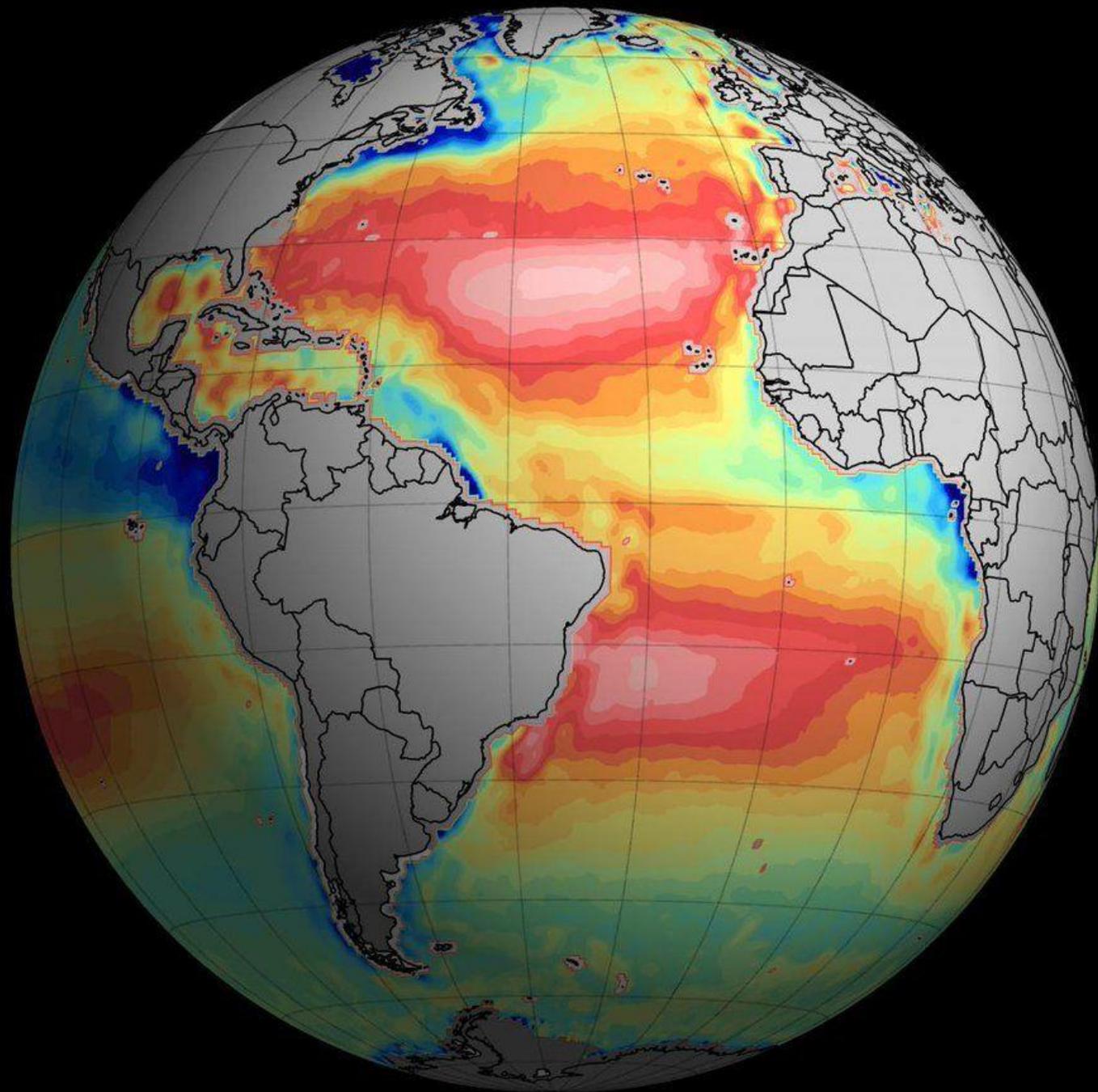
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ТЕМА 10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ ЧИСЛЕННЫХ
МОДЕЛЕЙ

*Белорусский государственный университет
г. Минск*



Валидация полей распределения температуры по результатам орбитальных наблюдений



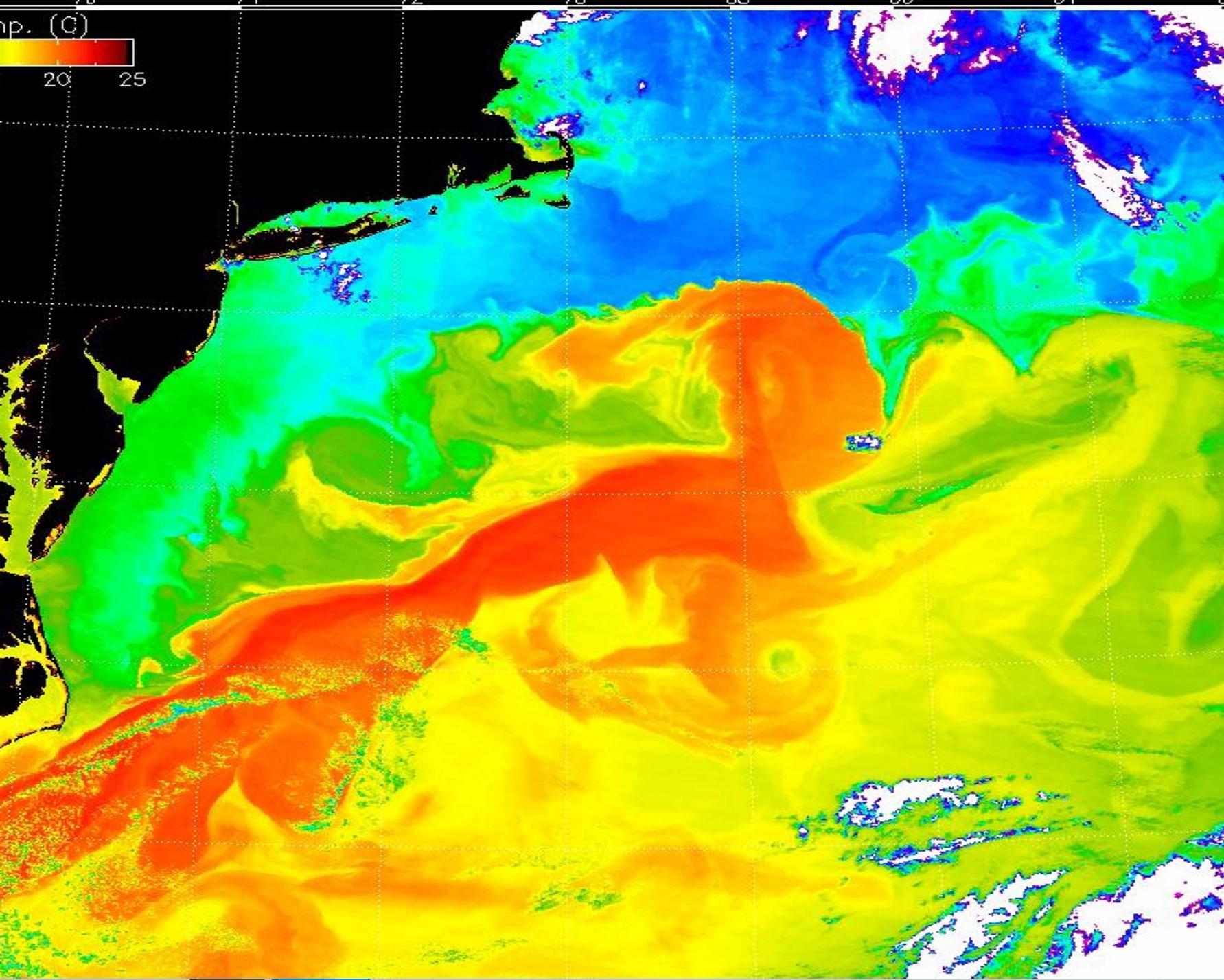
$\mu\text{mol.kg}^{-1}$



**Определение
температуры
подстилающей
поверхности,
поверхности
моря,
верхнего слоя
облачности**

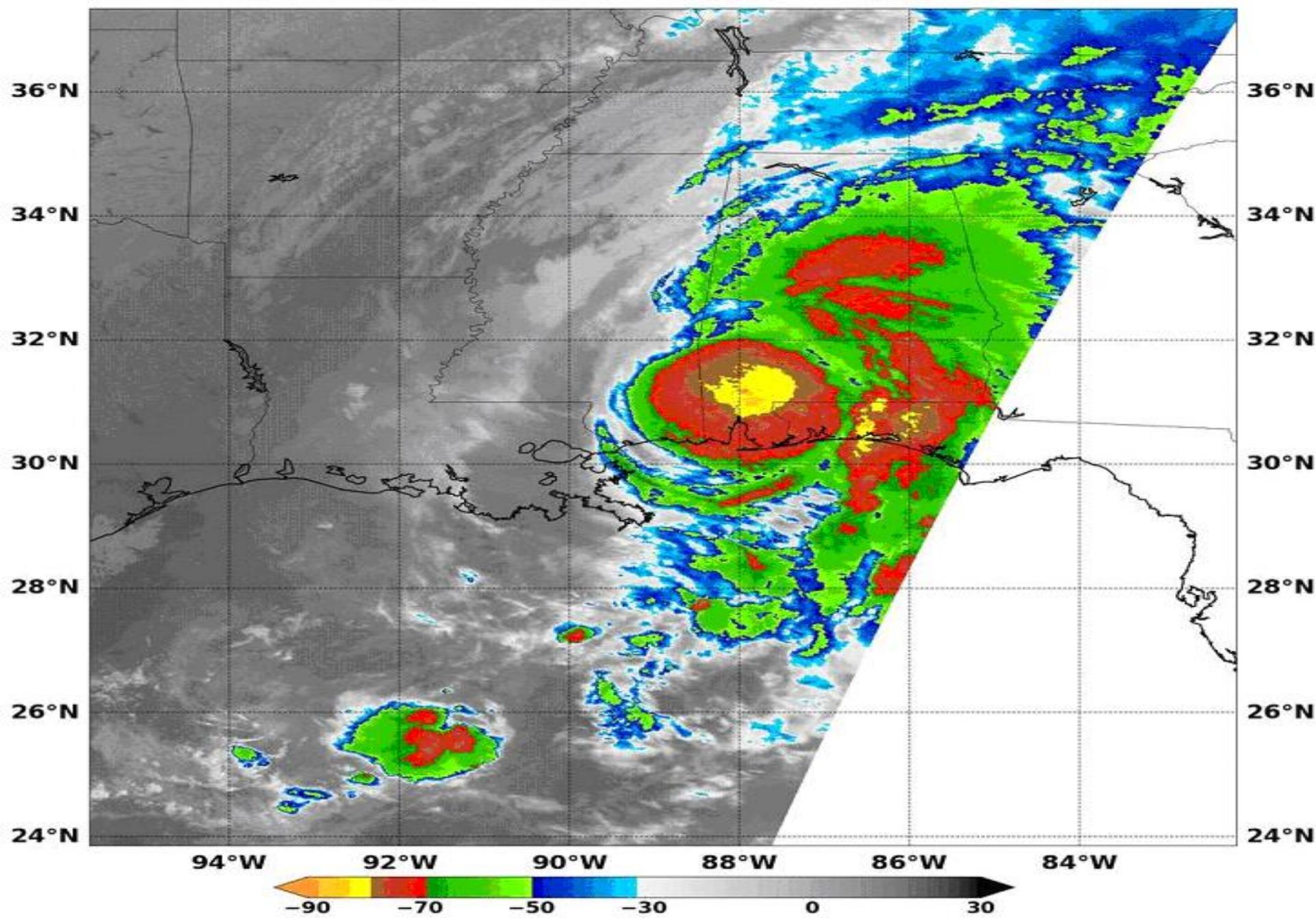
- Среди параметров физического состояния подстилающей поверхности, таких как **соленость, степень волнения, состояние ледяного покрова для водной поверхности и влажность, степень шероховатости, наличие и состояние растительного покрова для поверхности суши**, в настоящее время наибольший прогресс достигнут при дистанционном измерении с ИСЗ **температуры подстилающей поверхности T_s (IR диапазон)**.
- Определение T_s основано на измерении общего уходящего излучения в окне прозрачности атмосферы **8–12 мкм**, выделении из него вклада конкретной излучающей поверхности, на оценке влияния промежуточной толщи атмосферы (между излучающей поверхностью и ИСЗ) и введении при необходимости поправок, на определении **радиационной температуры** излучающей поверхности с последующим переходом к термодинамической (физической) температуре.
- **Определение температуры поверхности моря.** В инфракрасной области спектра излучения поверхность моря имеет излучательную способность, близкую к единице. Для определения ее радиационной температуры используется измерение длинноволновой радиации на верхней границе атмосферы в области спектра излучения **8–12 мкм**. Эта температура может существенно отличаться от температуры морской воды, измеряемой контактными методами, из-за неточностей, географической привязки измерений, низкого пространственного разрешения спутниковой аппаратуры, поглощения уходящего излучения водяным паром, озоном или аэрозолем, а также потому, что радиационная температура отражает усредненное по площади тепловое состояние тонкой (около 1 мм толщиной) излучающей пленки на поверхности воды, а физическая температура — состояние верхнего перемешанного слоя воды толщиной в десятки и сотни метров.
- **Точность дистанционного определения температуры поверхности моря** по данным спутниковых наблюдений составляет в среднем **1 К**, и в поле этой температуры хорошо прослеживаются поверхностные фронты, зоны апвеллинга, мезомасштабные циркуляции (вихри), течения.

- **Определение температуры поверхности суши.** Большинство типов земной поверхности (снег, растительность, отдельные виды почв) излучают почти как абсолютно черное тело. Однако некоторые из них (еловый лес, сухой кварцевый песок и др.) заметно отличаются излучательной способностью от абсолютно черного тела. Поскольку коэффициенты излучения многих естественных излучающих земных поверхностей известны, то проблему корректного определения их радиационной температуры можно решить при наличии наземной географической привязки и соответствующего банка априорных данных.
- Ошибка в задании коэффициента излучения в 0,01 обуславливает **неточность в определении температуры поверхности суши до 1 К.**
- **Определение температуры верхней границы облачности.** Радиационную температуру излучающей поверхности облаков определяют по измеренному спутником излучению в окне прозрачности атмосферы **8–12 мкм.** Эта температура мало отличается от физической, поскольку верхние слои атмосферы над облачностью достаточно «сухие» и не оказывают существенного влияния на излучение. По известному распределению температуры воздуха с высотой и измеренной (рассчитанной) радиационной температуре можно определить высоту излучающей поверхности облаков. Проще всего задача решается при наличии данных аэрологического зондирования в районе исследования. Если такая информация отсутствует, можно использовать климатические, расчетные или стандартные данные о вертикальном распределении температуры. **Точность определения верхней границы облаков колеблется от нескольких сотен метров до 1–2 км.**
- Существующие методики эффективны для слоистообразной или многоярусной сплошной облачности, а также для облаков вертикального развития. По результатам обработки инфракрасной информации ИСЗ составляются карты высоты верхней границы облаков.



Термическая карта Гольфстрима

Океанские течения, окрашены
В соответствии с температурой
поверхности

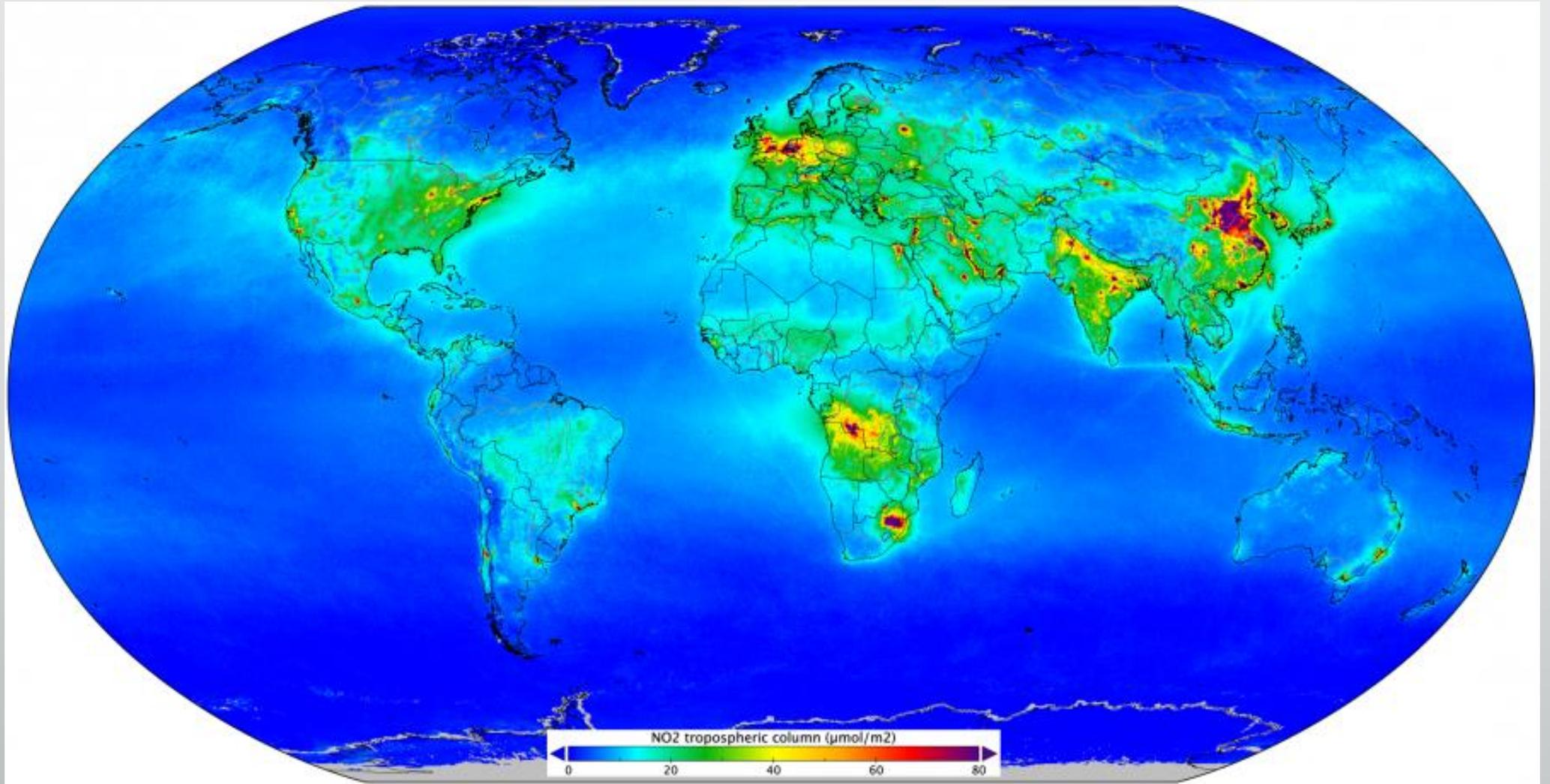


Температура в
центре урагана
«Нэйт»



Валидация моделирования вертикальных профилей метеовеличин по данным орбитальных наблюдений

Восстановление вертикальных профилей метеорологических величин в атмосфере



- **Вертикальное распределение температуры и влажности в атмосфере** исследуют совместно на основе спектральных измерений уходящего излучения в области полос диоксида углерода (15 мкм) и водяного пара (6,3 мкм) в следующей последовательности:
- По излучению в полосе диоксида углерода, концентрация которого в атмосфере в общем-то известна, восстанавливается термическая стратификация $T(p)$ как функция давления на стандартных (изобарических) уровнях;
- По восстановленному профилю температуры $T(p)$ определяют вертикальное распределение массовой доли водяного пара $q(p)$ по излучению в полосе водяного пара;
- Уточняют профиль температуры $T(p)$ с учетом перекрытия полос диоксида углерода и водяного пара в области 15 мкм.
- **Термическое зондирование атмосферы.** Определение термической стратификации $T(p)$ по уравнению радиационного переноса осуществляется в предположении равномерности и постоянства распределения поглотителя (диоксида углерода) в атмосфере, независимо от высоты, местоположения района зондирования, времени года. Строгий количественный учет влияния на функцию пропускания, следовательно, и на регистрируемое излучение паров воды, озона и аэрозоля затруднителен.
- Это увеличивает неопределенность в задании некоторых параметров уравнения переноса радиации и способствует росту ошибок выходных данных термического зондирования. Регистрируемое аппаратурой ИСЗ излучение относится к столбу атмосферы, в котором возможны пространственные вариации метеорологических параметров, вследствие чего получаемая информация является характеристикой некоторых осредненных величин состояния атмосферы.
- Наиболее серьезное ограничение возможностей термического зондирования атмосферы из космоса связано с облачностью и ее влиянием на трансформацию инфракрасного излучения в атмосфере. В полосах поглощения диоксида углерода (15 и 4,3 мкм) облачные образования действуют на излучение как абсолютно черное тело, исключая информацию о температуре подоблачного слоя.

Восстановление вертикальных профилей содержания водяного пара в атмосфере. Для определения вертикального распределения массовой доли водяного пара в широком диапазоне высот с удовлетворительной точностью необходимы измерения одновременно в инфракрасной (6,3 и 20–50 мкм) и микроволновой (1,35 см) областях спектра излучения. Измерения в микроволновом диапазоне дают информацию о влагосодержании нижних слоев атмосферы даже при наличии облачности. Инфракрасное излучение позволяет оценить содержание влаги в слое от 700 до 100 гПа.

Оценка содержания озона и малых газовых компонентов атмосферы. Основным методом определения общего содержания и вертикальных профилей озона, оксидов углерода и азота, оксидов серы, метана, аммиака и др. является измерение прозрачности атмосферы на наклонных трассах. Определенную информацию для решения подобных задач несут также измерения теплового уходящего излучения, точность которых зависит от достижимого в настоящее время спектрального разрешения. Сведения о вертикальном распределении озона и его общем содержании в атмосфере чаще всего получают на основе интерпретации измерений уходящего излучения на длине волны 9,6 мкм, например, с помощью интерферометра, обеспечивающего спектральное разрешение 2,4 см. Для надирных условий измерения этот метод имеет малую информативность с точки зрения теплового уходящего излучения. Поэтому используются и другие методы, основанные на измерении прозрачности атмосферы на наклонных трассах или отраженного и рассеянного излучения в ультрафиолетовой области спектра. В них учитываются влияние облачности и поглощения водяного пара на уходящее излучение, коррекция параметров функций пропускания на основе сопоставления измеренных интенсивностей и рассчитанных (по данным прямых измерений профилей температуры, влажности, озона). Предельные точности восстановления составляют для метана, закиси азота, озона и азотной кислоты примерно 4–7 % в области высот 20–50 км и около 15–20 % — в области высот 12–20 км. Средние ошибки восстановления составляют 25–30 % для высот 12–36 км и примерно 50 % — в области высот 40–50 км.



**Восстановление поля скоростей ветра по данным
орбитальных наблюдений для валидации численных моделей**

Восстановление полей воздушных течений по данным МСЗ. Подход к решению задачи возможен в трех направлениях, зависящих от:

- корреляционных связей между количеством облаков и вертикальной скоростью, вертикальной слагающей вихря скорости и дивергенцией воздушных течений;
- связи структурных особенностей пространственного распределения облачности с полями воздушных течений;
- возможности оценки ветра в безоблачных районах по данным восстановления вертикальных профилей температуры и влажности в атмосфере.



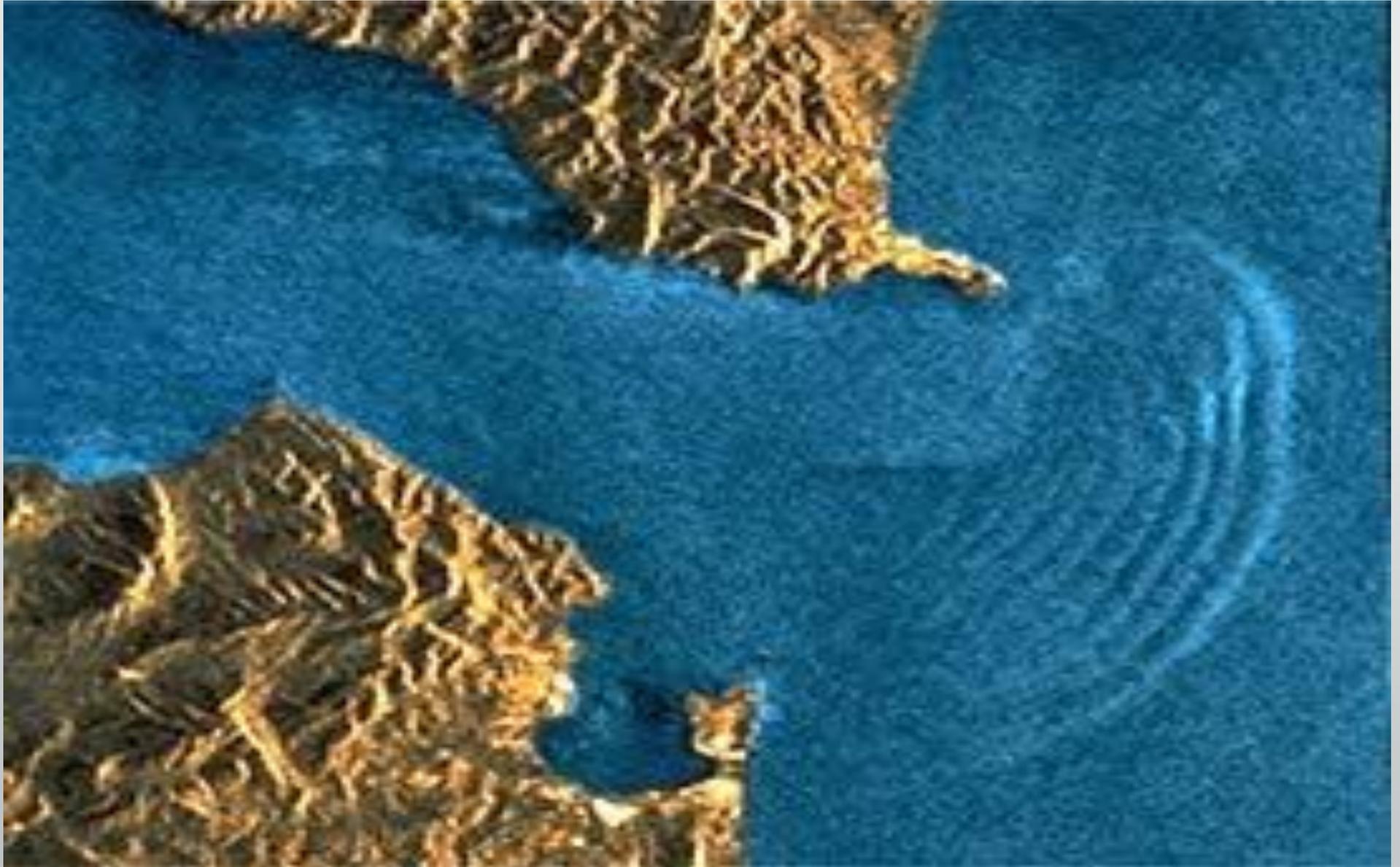
**Спутник ADM-Aeolus
для наблюдений за
глобальным полем ветра**

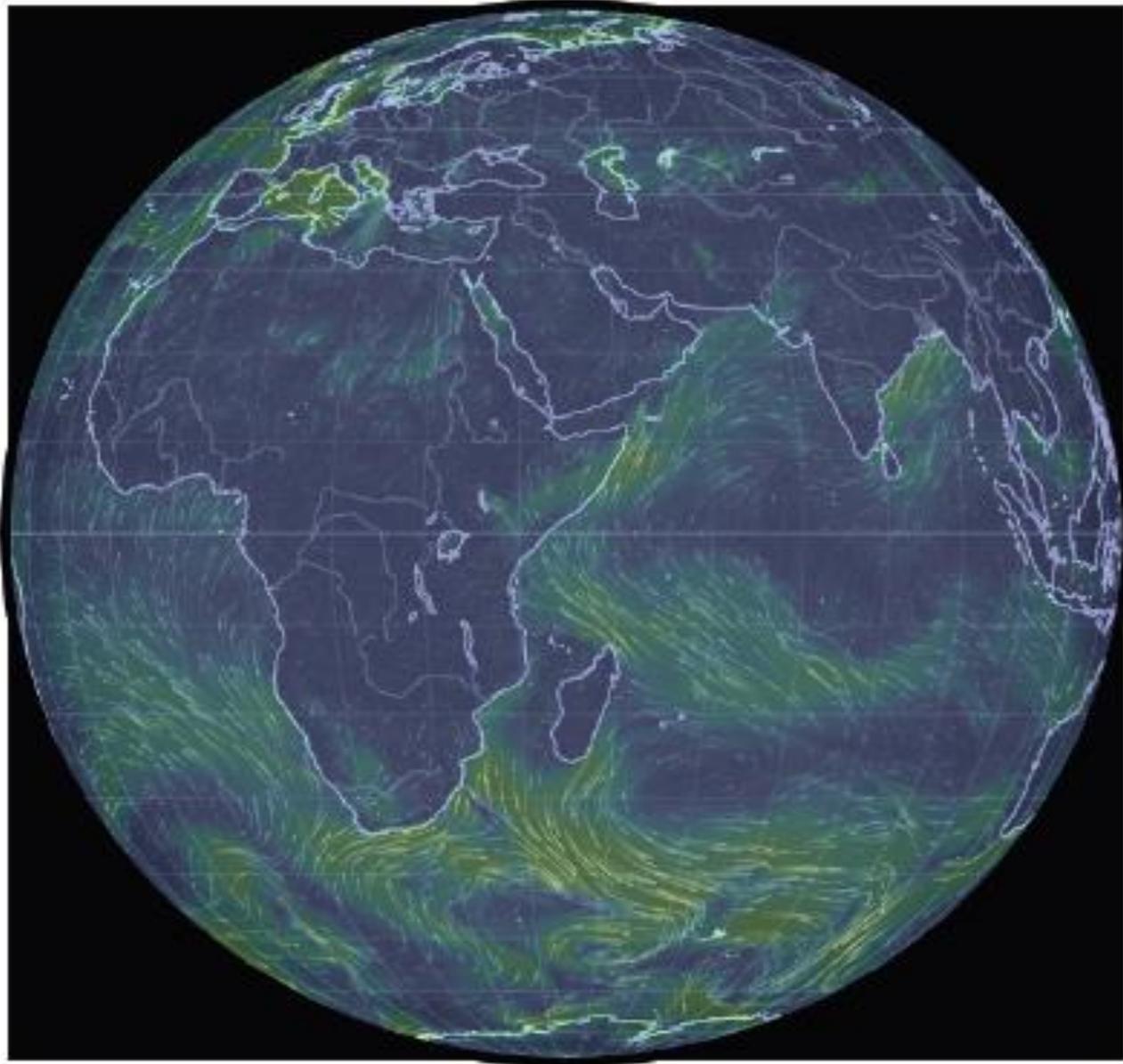
**Это – просто симпатичная
картинка!**



ADM-Aeolus (Atmospheric Dynamics Mission Aeolus — миссия по изучению динамики атмосферы «Эол») — космический спутник дистанционного зондирования Земли, построенный Airbus Defence and Space. **ADM-Aeolus** должен стать первым спутником, способным проводить глобальные наблюдения за ветрами от поверхности Земли до 30 км (стратосферы), что позволит получить информацию важную для предсказания погоды. Предполагается, что в дальнейшем это позволит ученым строить сложные модели. Аппарат будет функционировать на низкой ССО. Ветер будет измеряться в направлении 90 градусов от траектории движения аппарата при прохождении через затемненные участки Земли. Спутник будет производить измерения скорости ветра с использованием 3.4 кватного лазерного сканера, который будет посылать в атмосферу пучки ультрафиолетовых лучей для сбора данных о ветрах на Земле. Контролировать деятельность спутника будут специалисты ЕКА из европейского центра управления полетами в Дармштадте - в ближайшие месяцы они будут заниматься отладкой аппарата перед началом его полноценной работы. Космический аппарат назван в честь древнегреческого бога Эола, повелителя ветров.

Synthetic aperture radar (SAR)





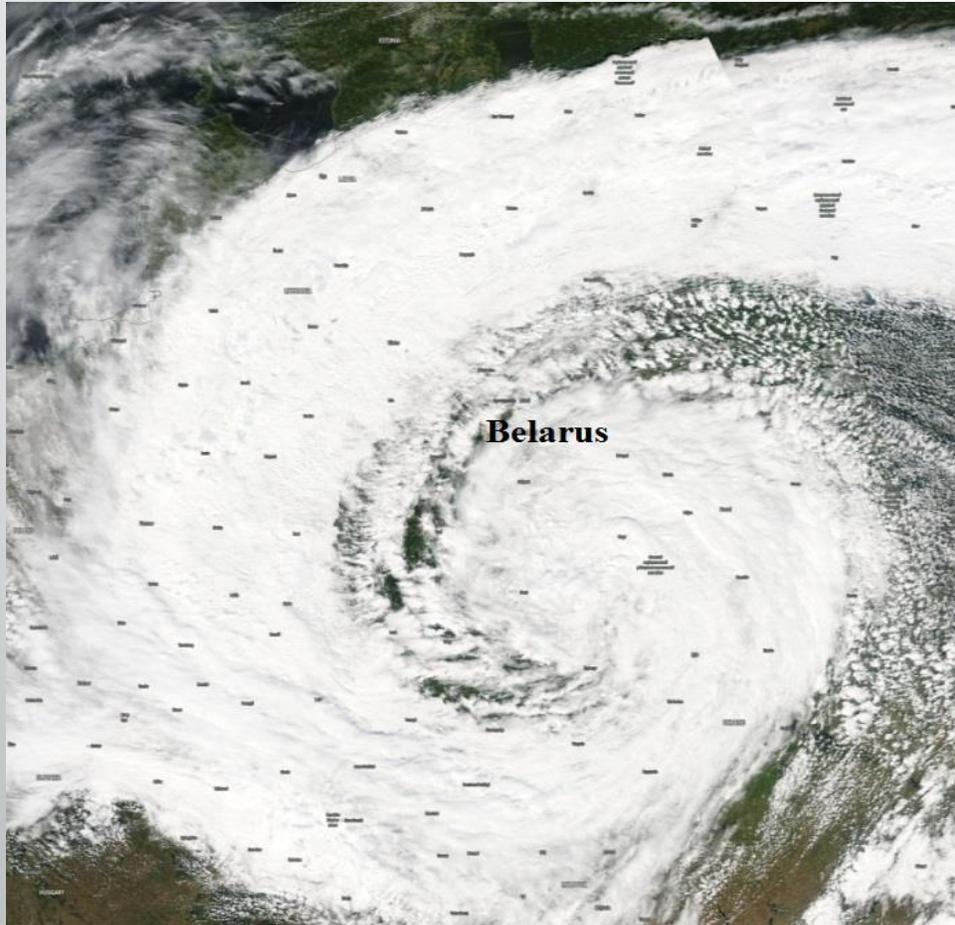
**Глобальная карта
поля скорости ветра
(суперкомпьютерный
расчет, анимация)**

Валидация результатов расчета облачности

- Для валидации результатов модельных расчетов можно использовать такие параметры, определяемые орбитальными методами:
- Высоту и температуру верхнего слоя облачности
- Тип облаков по составу
- Тип облаков по способу формирования
- Пространственные и временные характеристики облачного слоя
- Содержание воды и ледяных кристаллов в облаке (их соотношение)

Моделирование, распознавание и верификация модели облачности

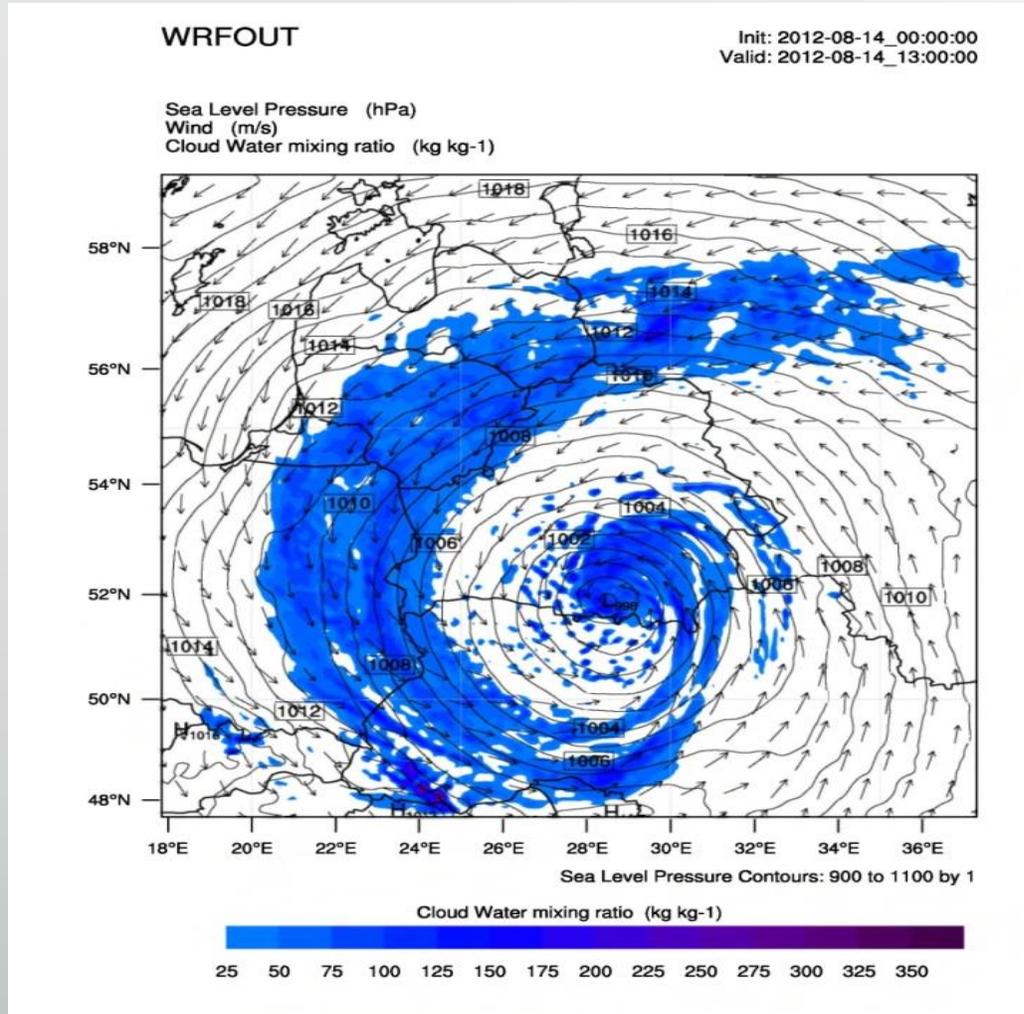
Предварительное распознавание грозового облака на дату 14 августа 2012 года



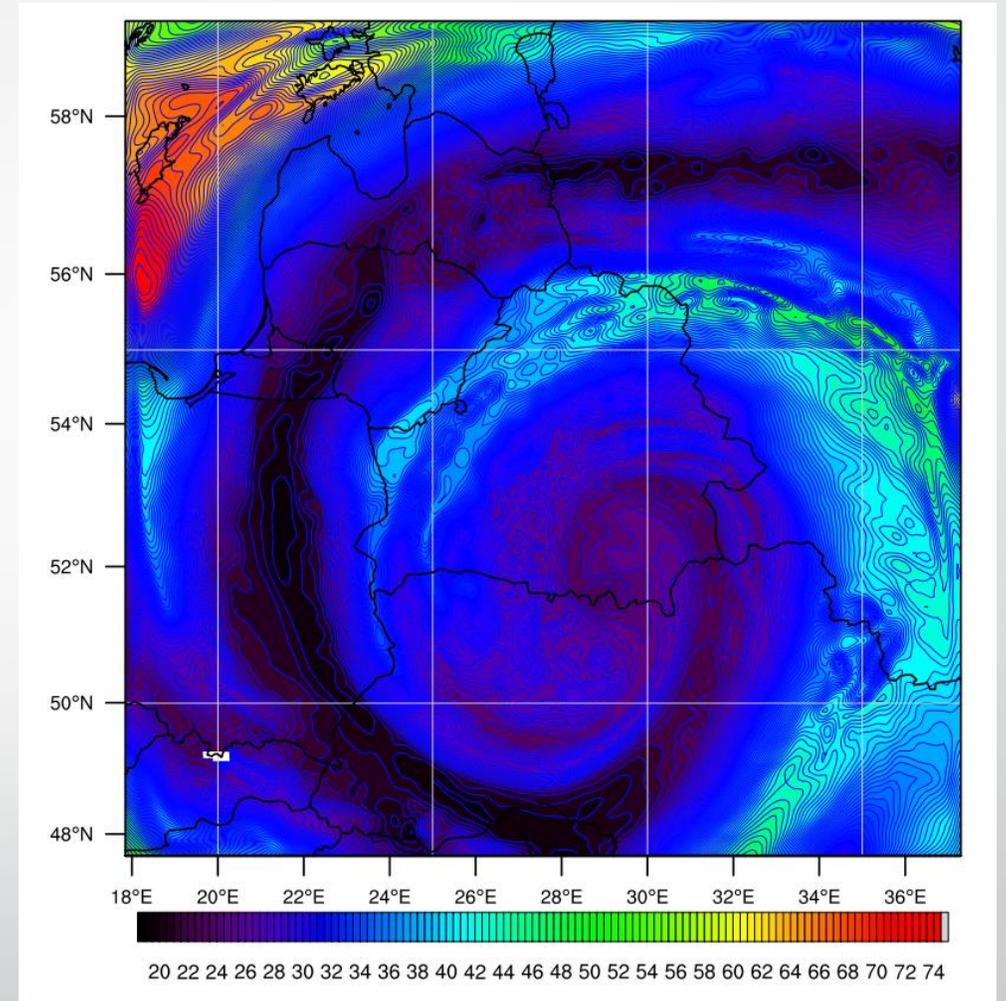
Спутниковый снимок с сервиса NASA GIBS AIP

Спутниковые снимки облачности на выбранную дату были получены с сервиса NASA Global Imagery Browse Services Available Imagery Products с разрешением 500м на 1 пиксель.

Расчёт грозовых облаков в системе WRF

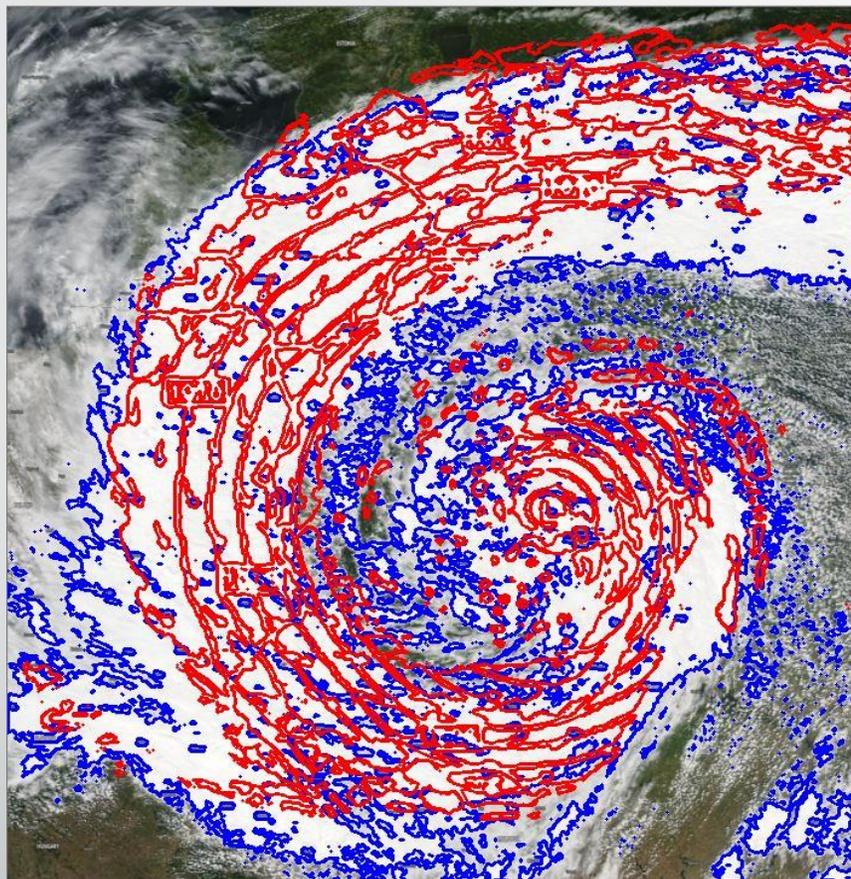


Модельный расчёт
облачности

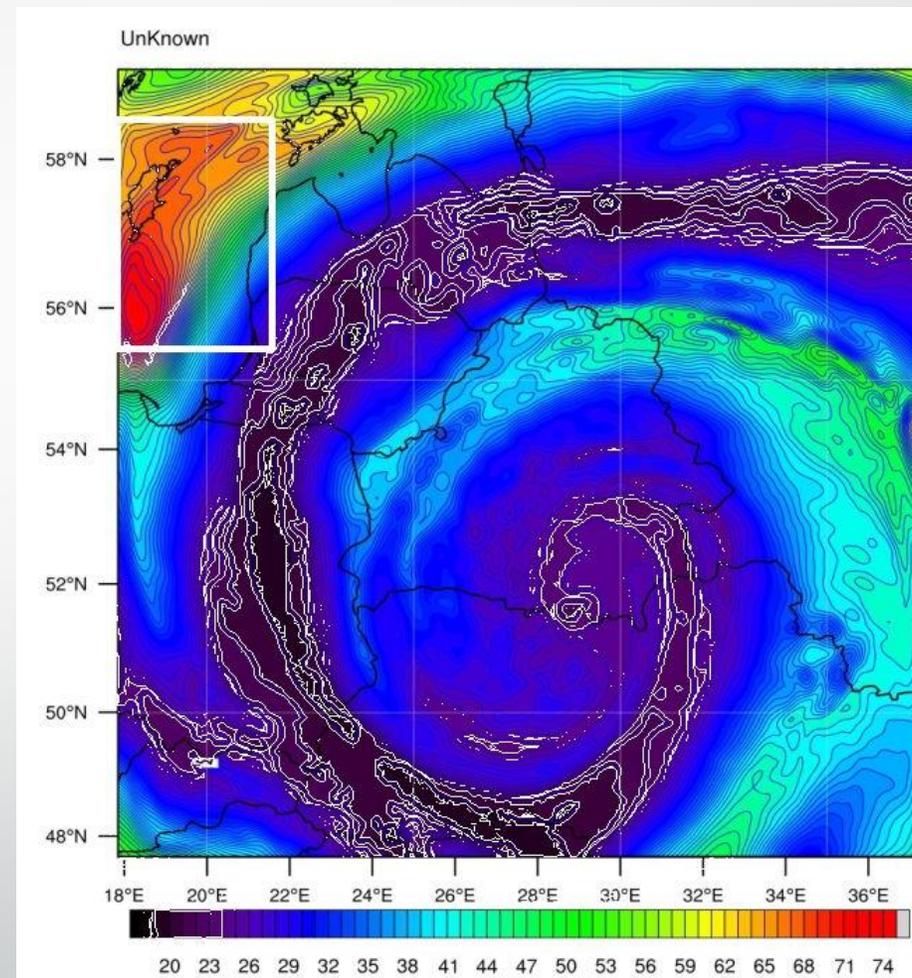


Расчёт коэффициента
грозы (неустойчивости)
14.08.2012

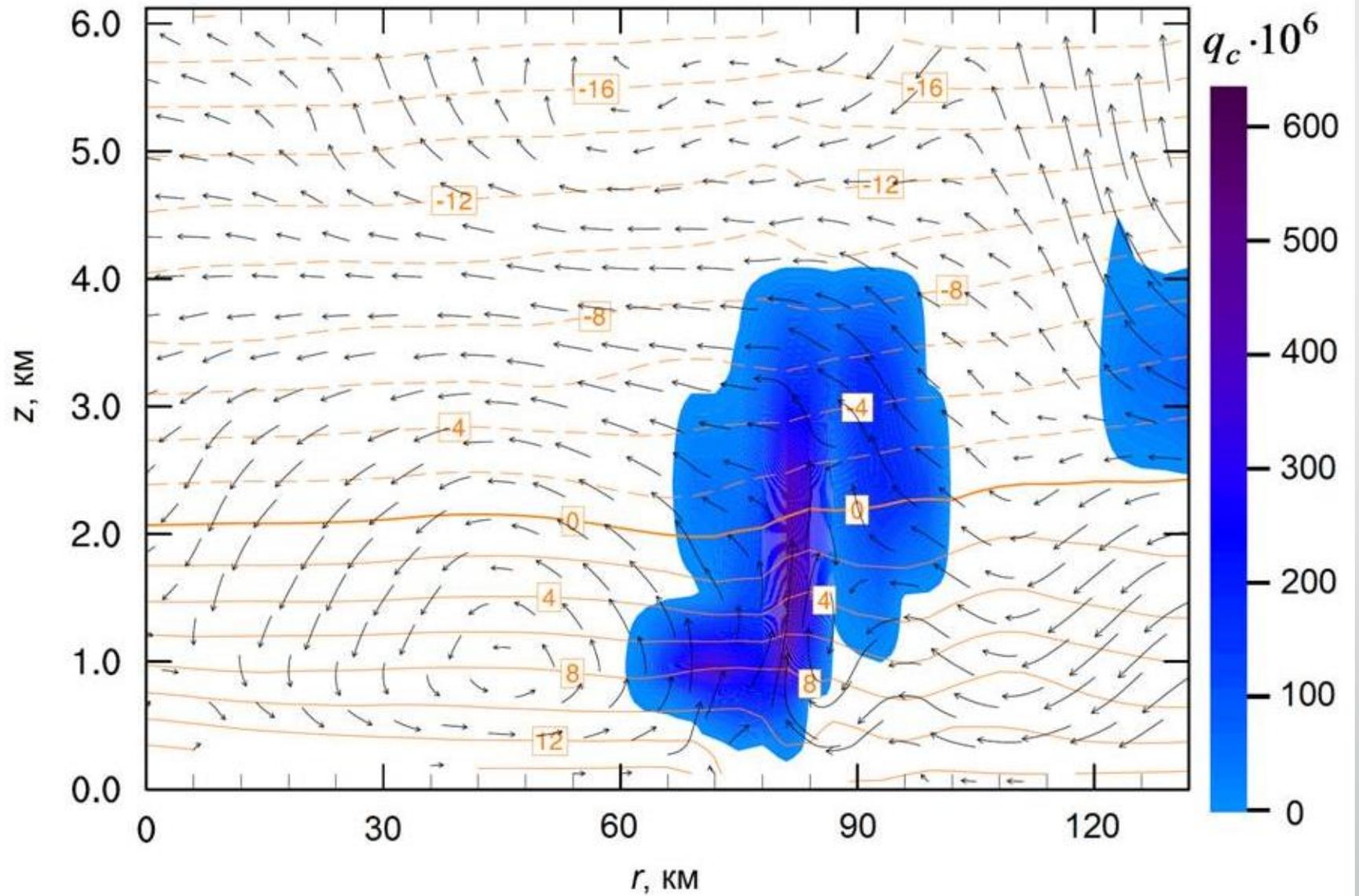
Выделение контура и области облачности. Сопоставление с модельными расчетами



Выделение контура облачности со спутника(синий) и наложение контура облачности рассчитанной WRF(красный)



Выделение "скелета" грозового облака⁴⁶ (белый) и области с высокой вероятностью грозы



Пример. Отношение смеси для жидких частиц облачности, поле скорости ветра и изотермы для вертикального сечения фрагмента области 3 на 12:00, 9.08.2005 г.



Спасибо за внимание!

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



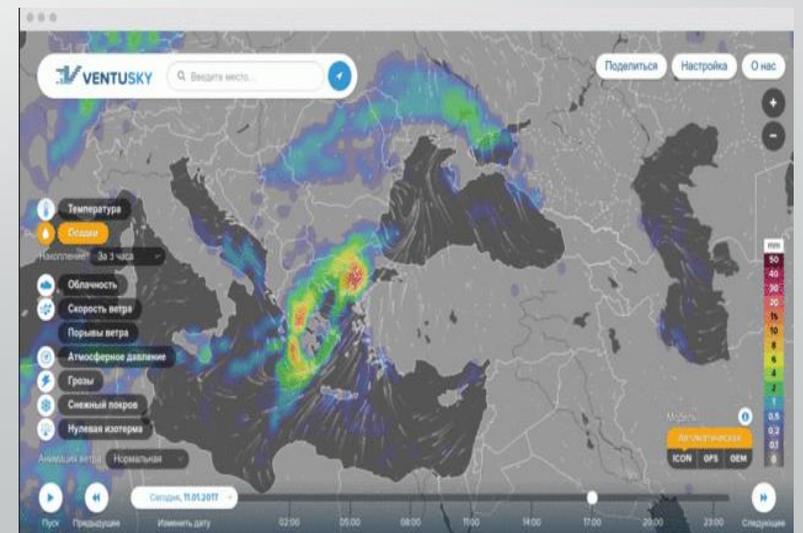
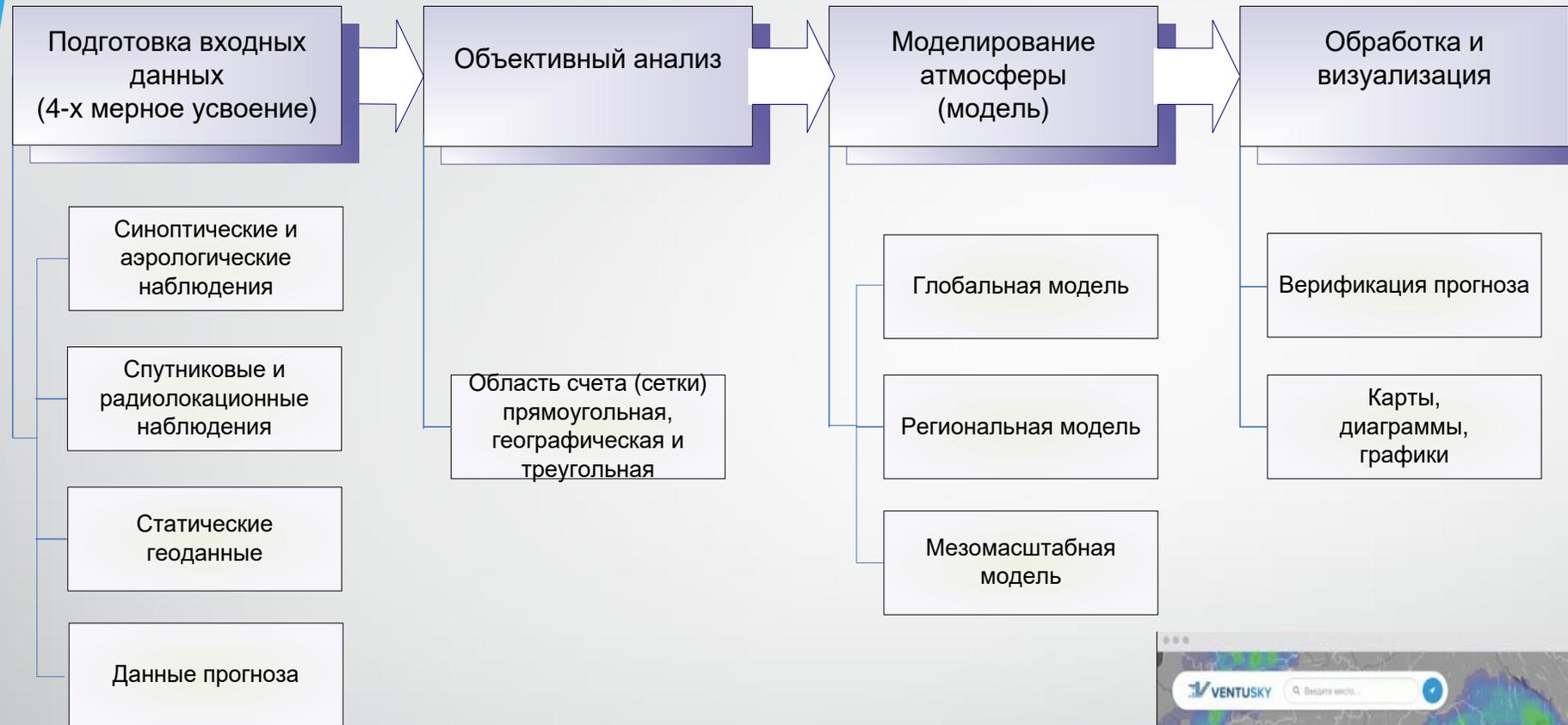
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 11. ПРОГНОЗ ПОГОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

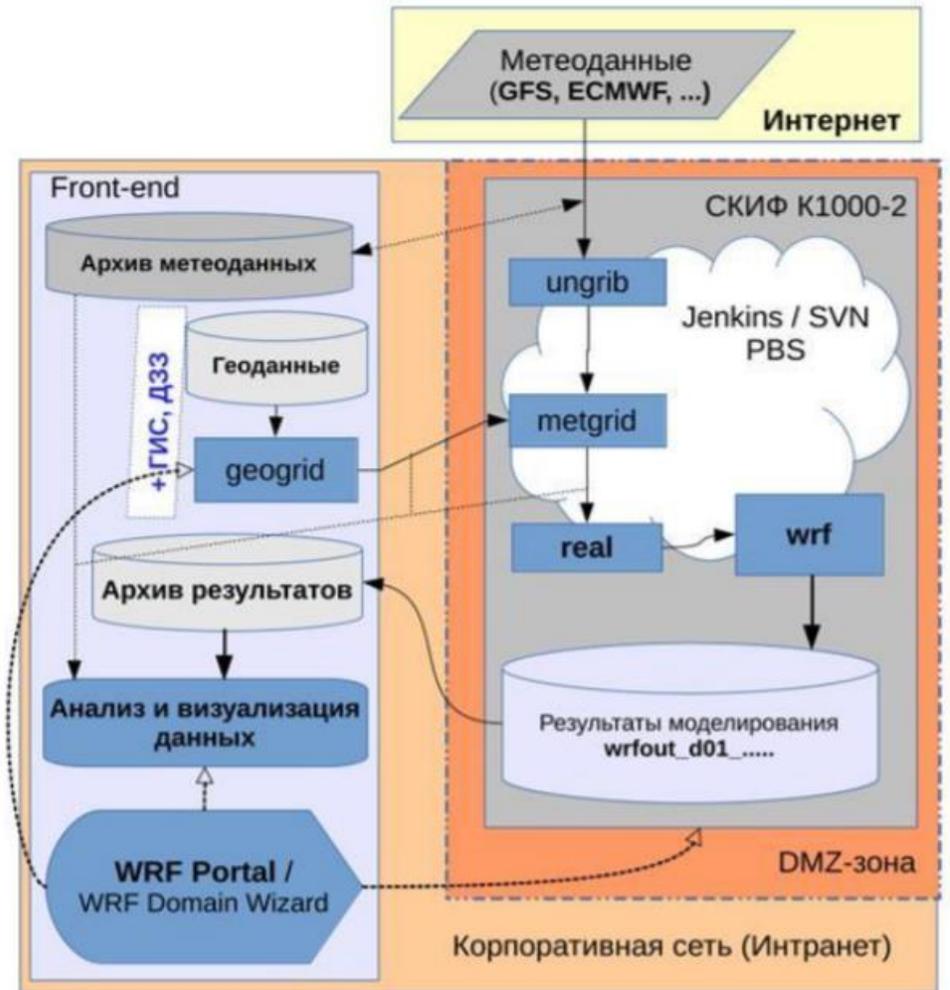


Схема численного прогноза погоды



➤ Для формирования задачи моделирования (подготовки исходных данных, установки параметров моделирования и запуска вычислений на суперкластере СКИФ K1000-2), а также последующего анализа полученных результатов моделирования, используется **front-end** система — управляющий компьютер BEVALEX.

Основные характеристики front-end компьютера BEVALEX	
Компоненты	Характеристики
Микропроцессор	16-ядерный AMD Opteron 6376 , 2 шт. (всего 32 процессорных ядра)
Оперативная память	32 Гб
Жёсткий диск	3 Тб, расширение до 4-х дисковых накопителей в RAID -массиве
Сетевое соединение	2 сетевые карты Ethernet 1 Гбит/сек (возможность одновременного подключения к внешней и внутренней сети)

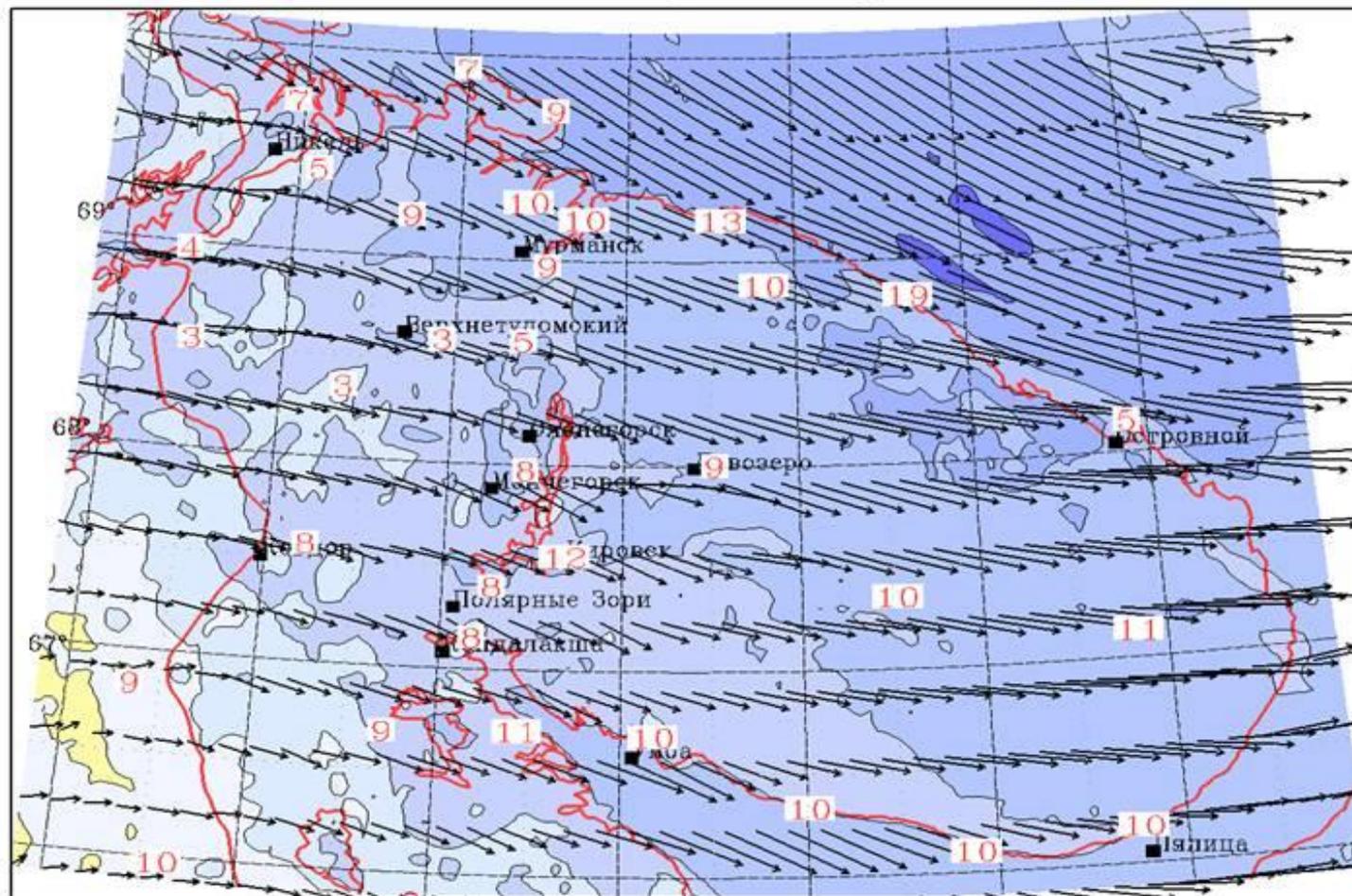


- 
- **Решение задач численного прогноза погоды**
 - Прогнозирование локальных погодных условий с высокой разрешающей способностью
 - Предсказание опасных явлений погоды (ураганы, наводнения, грозы, град и т. п.)
 - Повышение качества прогнозирования в целом
 - **Моделирование климата**
 - Повышение надёжности моделей долгосрочного прогноза климатических изменений
 - Исследование роли антропогенных воздействий
 - **Методы активного воздействия на атмосферу**
 - Разработка методов управления погодными явлениями (в перспективе)

Прогноз ветра от 12 часов 28 мая 2009 г. на 00 часов 29 мая 2009 г.

ВЕТЕР НА 10 М. (м/с)

Прогноз для Мурманска (5KM) от 12 часов 28 мая 2009 г.
на 00 часов 29 мая 2009 г., заблаговременность 012 часов.





Спасибо за внимание!

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 12. СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ
ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

Статическая и динамическая модели

Соотношение между значениями двух переменных, например между уровнем воды в реке и расходом в поперечном сечении, можно представить одновременно статической или устойчивой моделью и описать алгебраическим уравнением.

Статистические модели эксперимента

Модели предполагают проведение нескольких серий экспериментов, дающих возможность статистическими методами контролировать влияние факторов.

Особенности:

1. Можно измерить влияние более чем одного фактора.
2. Конкретные посторонние факторы поддаются контролю.
3. Многократный замер единиц наблюдения

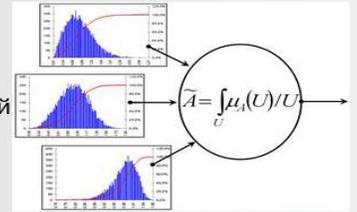
Динамические модели

– информационные модели, которые описывают развитие систем во времени.

В физике: описывают движение тел

В биологии: развитие организмов и популяций животных

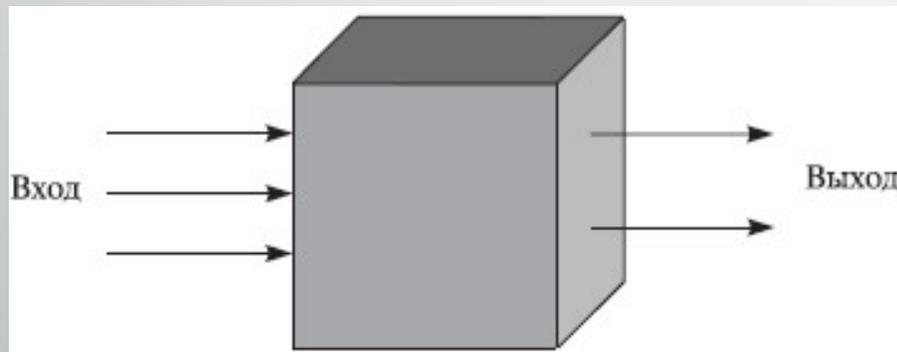
В химии: протекание химических реакций



Примером динамической модели может служить количественное соотношение между мгновенным значением речного стока в рассматриваемом поперечном сечении за данное время и величинами ранее выпавших осадков над водосбором, замыкаемым этим поперечным сечением: модели осадки–сток. В динамических моделях обычно используются обыкновенные дифференциальные уравнения или дифференциальные уравнения в частных производных. Существуют многочисленные разветвленные классификации динамических моделей.

- Выделяют два типа гидрологических моделей: модели, в основе которых – статистические данные, иначе их называют системы черных ящиков.

В них исследуются данные с применением математического и статистического инструментов, на вход подаются показатели, на выходе получают поведение системы, зависимости, законы, описывающие изучаемое явление.



Модель «черного ящика»

Понятие «черный ящик» было предложено У. Р. Эшби. В кибернетике оно позволяет изучать поведение систем, т. е. их реакций на разнообразные внешние воздействия, и в то же время абстрагироваться от их внутреннего устройства. Таким образом, система изучается не как совокупность взаимосвязанных элементов, а как нечто целое, взаимодействующее со средой на своих входах и выходах. Метод «черного ящика» применим в различных ситуациях. Этот способ используется при недоступности внутренних процессов системы для исследования.

Концептуальные модели

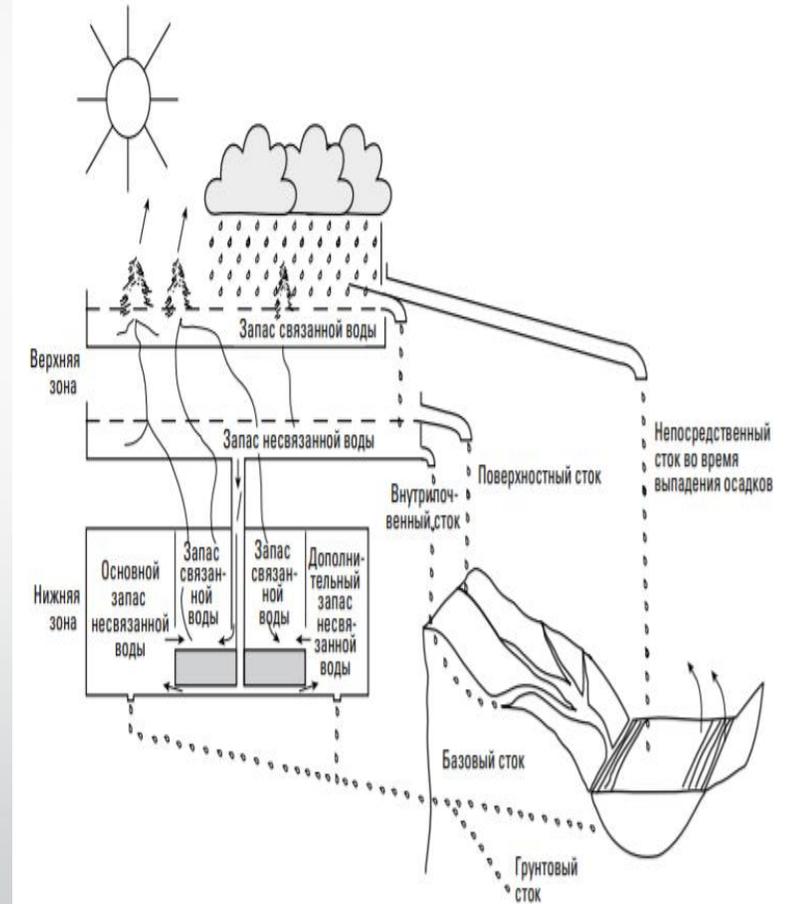
- подход к моделированию, включающий решение систем уравнений, в основу которых положены различные концепции описания физических процессов формирования стока.
- Одним из наиболее трудных аспектов применения концептуальных моделей является калибровка выбранной модели применительно к конкретному водосбору. Большинство параметров модели определяются итерационным способом, вручную или автоматически, на основе исторических рядов входных и выходных данных. Из-за ограниченности данных, несовершенства модели и наличия внутренних связей между параметрами даже небольшое увеличение их количества способно значительно повысить трудности, связанные с калибровкой модели. Поэтому необходимо, чтобы число параметров соответствовало степени достоверности исходных данных и требуемой точности.
- Несколько концептуальных моделей включены в Гидрологическую оперативную многоцелевую систему (ГОМС) ВМО.

Концептуальная модель гидрологического цикла в Арктике
(New Hampshire University).



Модель Сакраменто

Модель Сакраменто была разработана в Центре речных прогнозов Национальной службы погоды США в Сакраменто, штат Калифорния. Эта модель включает сложный алгоритм расчета влажности почвы, предназначенный для получения значений объемов нескольких компонентов речного стока, в то время как достаточно простой и почти полностью эмпирический подход используется для преобразований этих входных данных в гидрограф стока. Почвенная толща разделена на две части — верхнюю зону и нижнюю зону, каждая из которых имеет емкости для капиллярной и свободной воды. Капиллярная вода тесно связана с почвенными частицами и извлекается из почвы только в процессе испарения. Гравитационная вода, согласно принятому условию, стекает в процессе дренирования вертикально вниз и в горизонтальном направлении. Размеры емкостей для капиллярной и гравитационной воды в каждой зоне рассматриваются в качестве модельных параметров. Вода, поступившая в зону, суммируется с запасом капиллярной влаги до тех пор, пока не превысит капиллярную влагоемкость; излишек воды в этом случае идет на пополнение запаса свободной воды. Одна часть осадков любого вида немедленно поступает в русловую систему в виде прямого стока. Это те осадки, которые выпадают в пределах русловой системы, а также на прилегающих водонепроницаемых площадях. Размеры этих площадей в модели изменяются во времени. Как дождевые осадки, так и осадки, образовавшиеся в результате снеготаяния, кроме тех, которые перешли непосредственно в прямой сток, проникают в верхнюю зону. Гравитационная вода в верхней зоне расходуется либо на внутрипочвенный сток, либо на фильтрацию в нижнюю зону. Если пополнение влаги в верхней зоне происходит быстрее ее истощения, излишек воды расходуется на поверхностный сток. Свободная вода в нижней зоне перераспределяется между первичной (медленный дренаж) и вторичной ёмкостями.



Фильтрация из верхней зоны в нижнюю определяется по уравнению:

$$PRATE = PBASE \left[1 + ZPERC * RDC^{REXP} \right] \frac{UZFWC}{UZFWM},$$

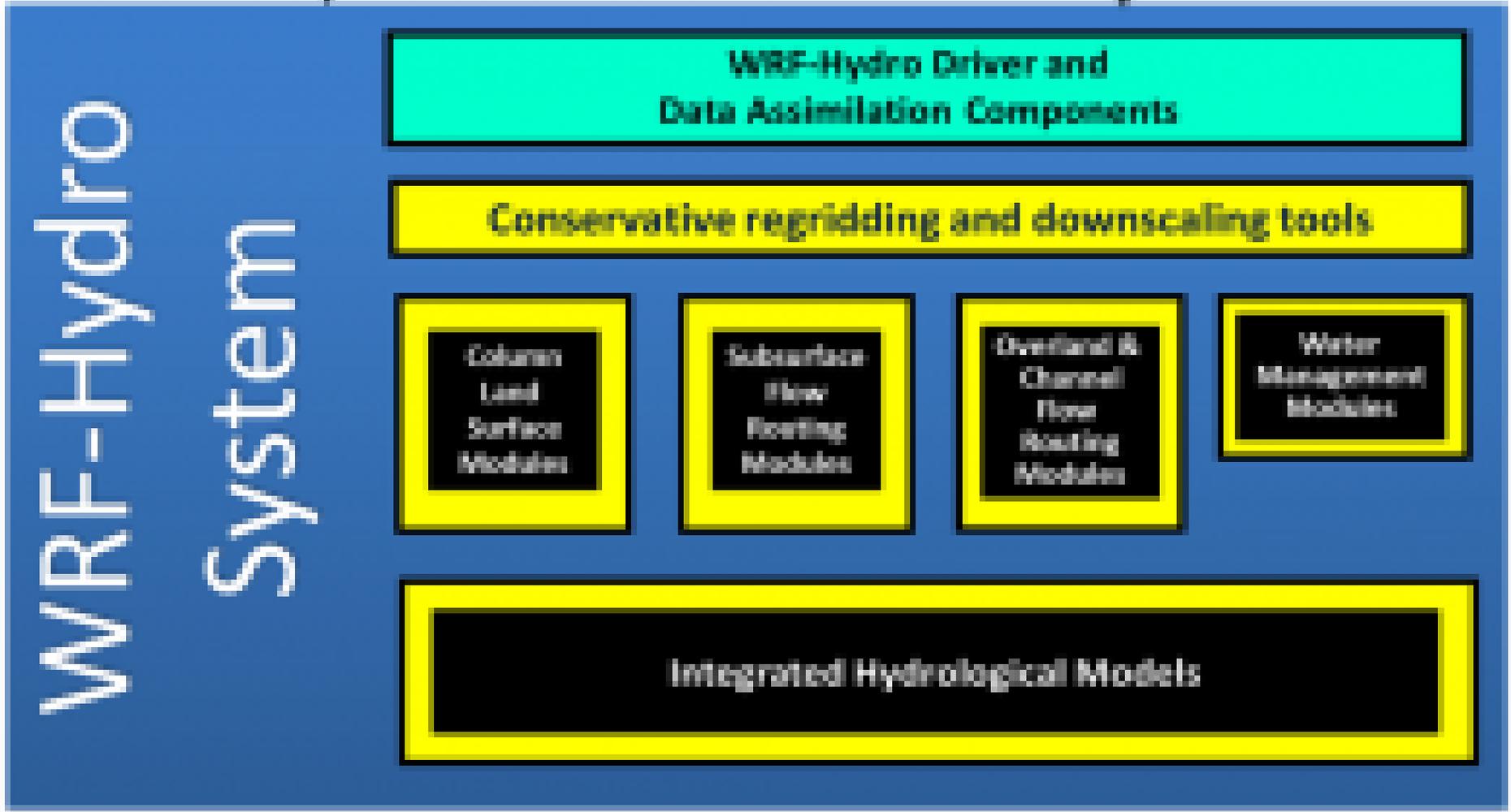
где PRATE — скорость фильтрации; PBASE — скорость, с которой будет происходить фильтрация в случае насыщения нижней зоны и при неограниченном запасе влаги в верхней зоне. Численно она равна максимальной скорости оттока из нижней зоны и рассчитывается как сумма запасов свободной воды в первичной и вторичной емкостях, каждый из которых умножается на свой коэффициент оттока. RDC — отношение дефицита влаги нижней зоны к влагоемкости. То есть $RDC = 0$, когда нижняя зона полностью насыщена, и $RDC = 1$, когда она полностью сухая. ZPERC — параметр модели, который определяет диапазон изменений скорости фильтрации. При неограниченной подаче свободной воды в верхнюю зону скорость фильтрации будет изменяться от PBASE (нижняя зона насыщена) до $PBASE(1 + ZPERC)$, когда нижняя зона опорожнена. REXP — параметр модели, определяющий форму кривой зависимости между максимальным и минимальным значениями скорости фильтрации, указанными выше. UZFWC — содержание свободной влаги в верхней зоне. UZFWM — влагоемкость верхней зоны. Отношение $UZFWC/UZFWM$, является движущей силой влагообмена в верхней зоне.

Global
Meteorological Analyses/Re-analyses/
Nowcasts/Forecasts

Weather and Climate
Prediction Models

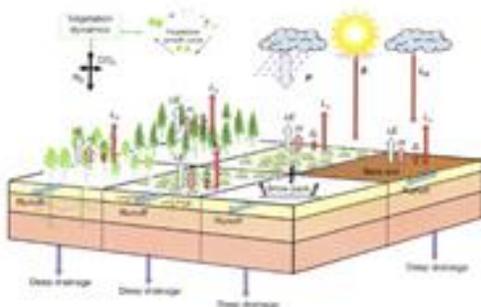
One-way coupling

Two-way coupling



WRF-Hydro Physics Components – Output Variables

Column Land Surface Models

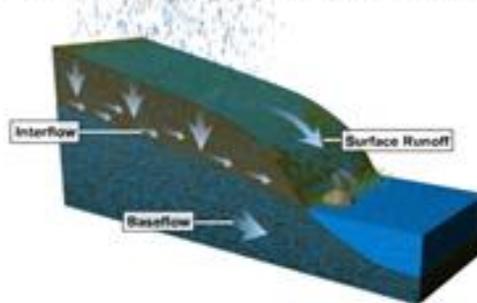


Output Variables:

- Evapotranspiration
- Soil moisture/Soil Ice
- Snowpack/Snowmelt
- Runoff
- Radiation exchange
- Energy Fluxes
- Plant water stress

2- way
Coupling

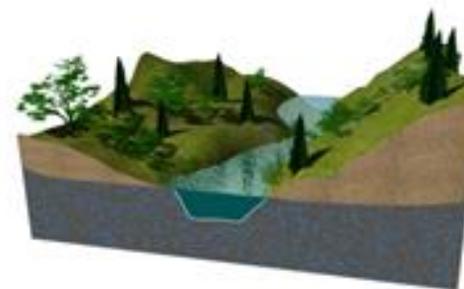
Terrain Routing Modules Overland flow, Subsurface flow



Output Variables:

- Stream inflow
- Surface water depth
- Groundwater depth
- Soil moisture

Channel & Reservoir Routing Modules Hydrologic & Hydraulic



Output Variables:

- Streamflow
- River stage
- Flow velocity
- Reservoir storage & discharge

Гидрология суши в моделях прогноза погоды и климата

Гидрология растительности

- перехват осадков листьями
- стекание осадков с листьев
- испарение осадков с листьев
- транспирация
- питание корней

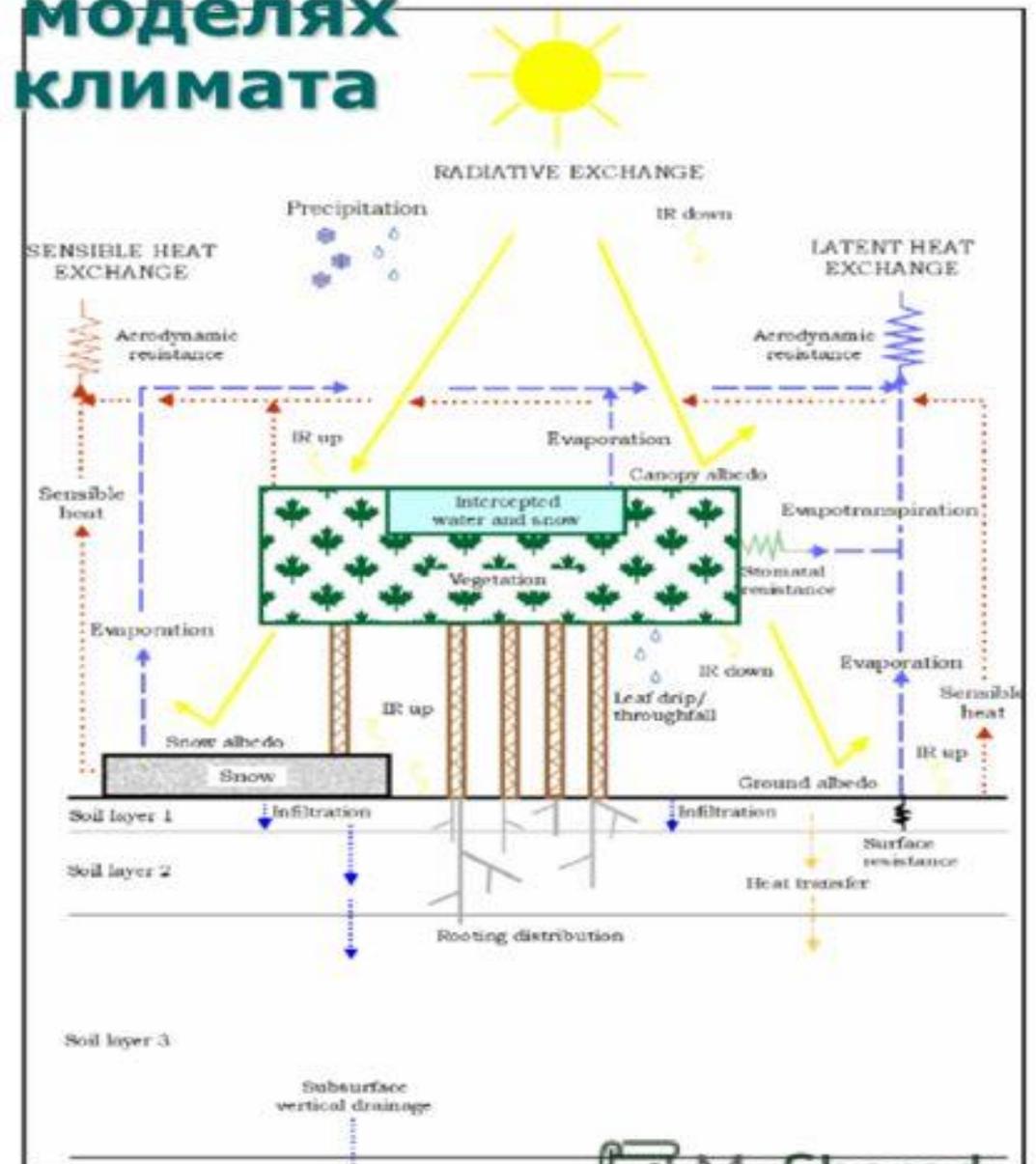
Гидрология почвы

- диффузия
- инфильтрация
- поверхностный сток
- подповерхностный сток

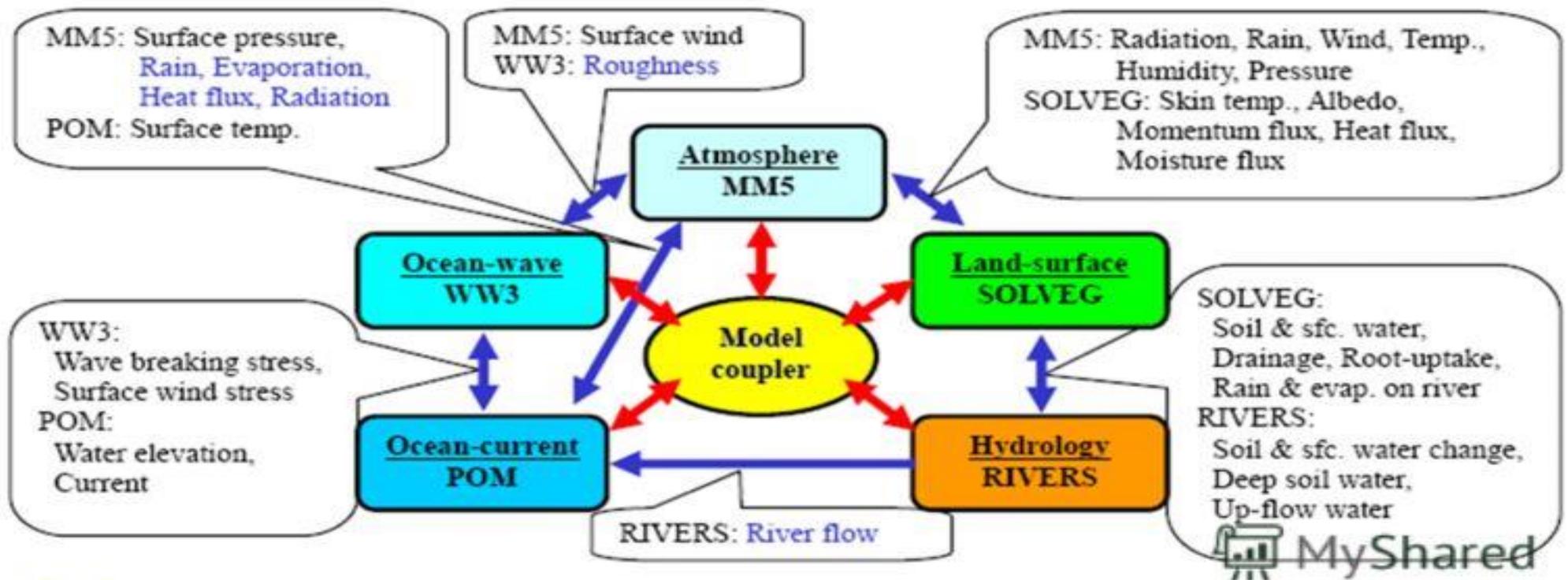
Гидрология снега

- диффузия жидкой влаги
- метаморфизм
- ...

Модель водоема



Сопряжение мезомасштабной атмосферной модели с трехмерными гидрологическими моделями (Nagai et al.)





Спасибо за внимание !

Александр Георгиевич Светашев
Наталья Васильевна Дорожко



ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**ТЕМА 13. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Белорусский государственный университет
г. Минск*

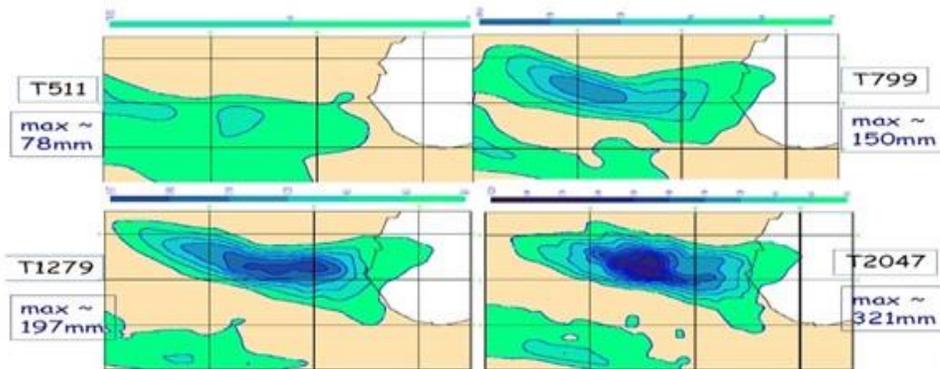
Что влияет на точность численного прогноза погоды?

- Качество начальных данных о состоянии атмосферы и поверхности Земли (наблюдений и методов их обработки)
- Разрешение модели атмосферы
(Спектральные модели: $T169L31 = 169$ гармоник, треугольное усечение, 31 уровень по вертикали)
- Полнота и точность параметризаций процессов подсеточного масштаба («физики»)

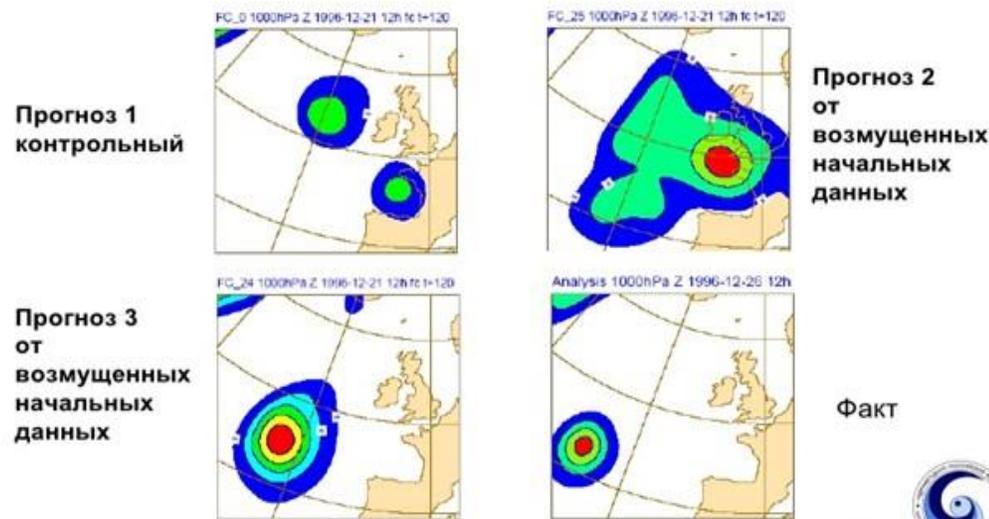


Роль разрешения модели

Осадки за вторые сутки прогноза, полученные по модели ECMWF с разным разрешением



Роль начальных данных о состоянии атмосферы (влияние их малых возмущений на 5-сут прогноз)



Численный прогноз погоды



- **Детерминированный прогноз**
Однократное интегрирование модели атмосферы с использованием данных о начальном состоянии атмосферы, рассматриваемых как наилучшее приближение к истине

- **Ансамблевый прогноз**
Многократное интегрирование одной или нескольких моделей атмосферы с использованием слегка различающихся данных о начальном состоянии атмосферы
Требует существенно больше компьютерных ресурсов!!!!



Численный прогноз погоды



- **Детерминированный прогноз**

Однократное интегрирование модели атмосферы с использованием данных о начальном состоянии атмосферы, рассматриваемых как наилучшее приближение к истине

- **Ансамблевый прогноз**

Многократное интегрирование одной или нескольких моделей атмосферы с использованием слегка различающихся данных о начальном состоянии атмосферы

Требует существенно больше компьютерных ресурсов!!!!



Задача численного детерминированного прогноза погоды

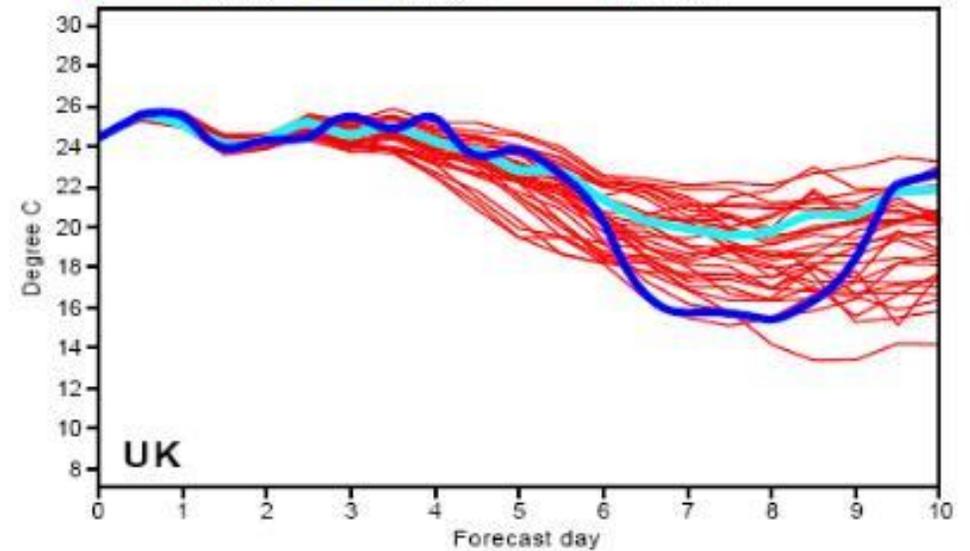
- **Усвоение данных наблюдений**
(объективный анализ)
- Препроцессинг модели
- Инициализация данных (*устранение ложных быстрых гравитационных мод*)
- **Модель атмосферы**
- Постпроцессинг модели
- Оценка качества прогноза
- Передача результатов прогноза по каналам связи

Пример
ансамблевого
прогноза
температуры
воздуха в Лондоне
(метеограмма)

ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/06/1995 London Lat: 51.5 Long: 0

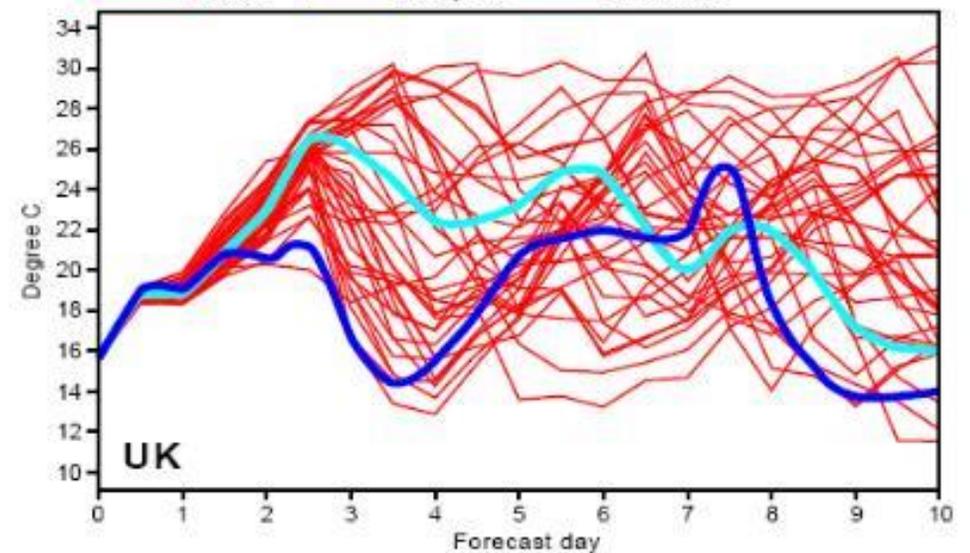
Control Analysis Ensemble



ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/06/1994 London Lat: 51.5 Long: 0

Control Analysis Ensemble



Качество прогнозов
падает
с заблаговременностью
прогнозов

Качество прогнозов
зависит
от ситуации

Нужен вероятностный прогноз!
Т.е. описание эволюции функции плотности
вероятности состояний атмосферы во времени.
Уравнение Лиувилля – долго.
АНСАМБЛИ!!!

Пользователям нужна
оценка
качества прогнозов

Пользователям нужна
вероятность
экстремальных явлений

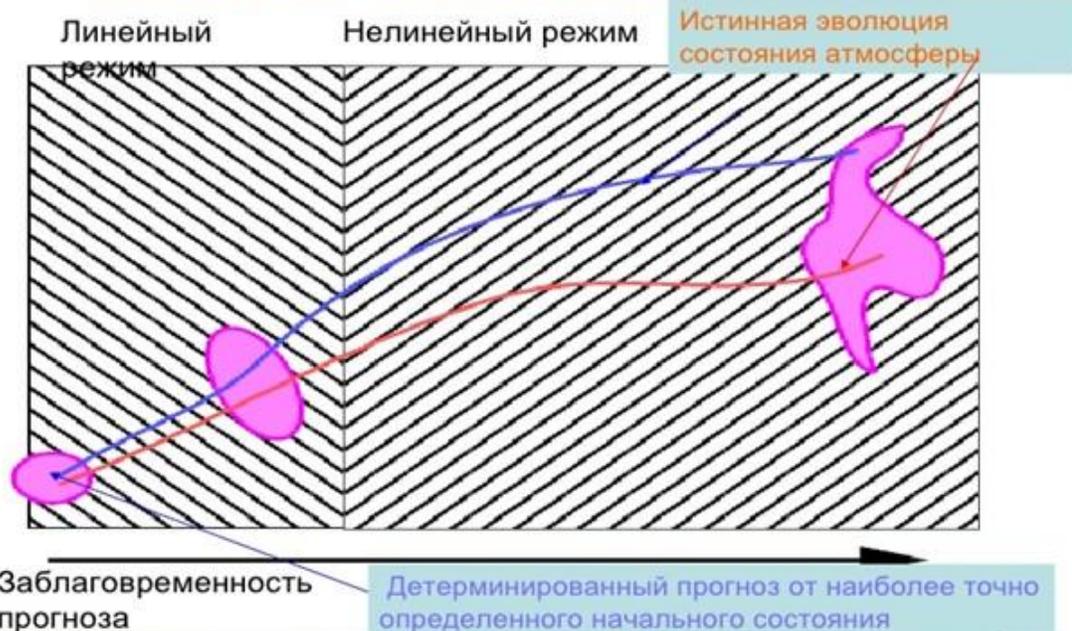
ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

- Атмосфера – хаотическая система
- Динамика ее нелинейна
Мелкомасштабные ошибки могут влиять на крупномасштабные процессы и приводят к возрастанию ошибок прогноза со временем
- Данные о начальном состоянии атмосферы неточны
*ошибки измерений
неравномерное распределение наблюдений в пространстве и во времени*
- Модели атмосферы несовершенны
*Неточности в уравнениях
Параметрический учет физических процессов
Дискретизация*



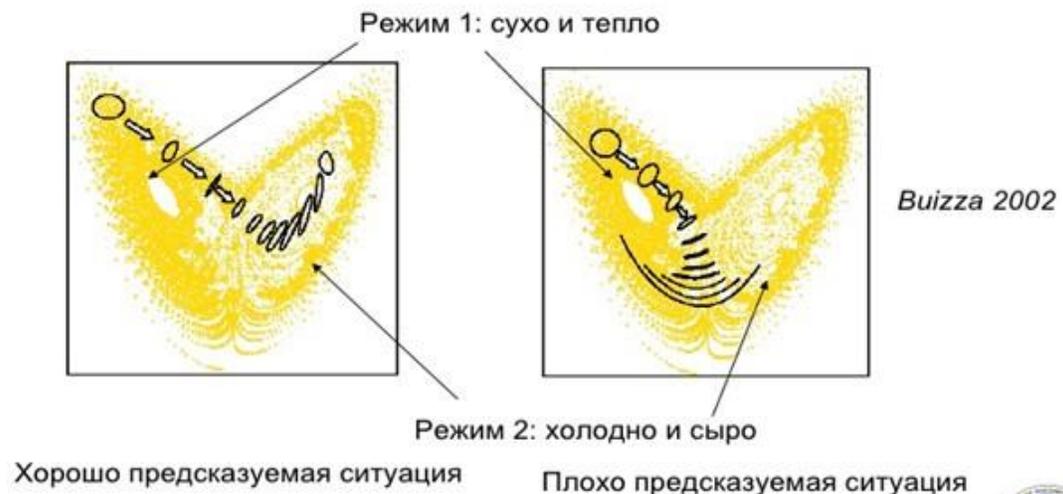
ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Эволюция ошибок в начальном состоянии атмосферы



ПРОГНОЗАМ ПОГОДЫ ПРИСУЩА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Качество прогноза зависит от ситуации



Качество прогнозов падает с заблаговременностью прогнозов

Качество прогнозов зависит от ситуации

Нужен вероятностный прогноз!
 Т.е. описание эволюции функции плотности вероятности состояний атмосферы во времени.
 Уравнение Лиувилля – долго.
АНСАМБЛИ!!!

Пользователям нужна оценка качества прогнозов

Пользователям нужна вероятность экстремальных явлений

Неточность данных
о состоянии
атмосферы

Бридинг
Ансамблевые трансформации
Сингулярные вектора
Системное моделирование

Неточность данных
о состоянии
поверхности
Земли

Системное моделирование
Варьирование характеристик
поверхности

Неточность модели
атмосферы

Стохастическая физика
Мультимодельность
Вариации параметризаций

Временные ограничения для задач прогноза погоды и климата

- Прогноз погоды: 1 сутки за 10-20 мин

Наблюдения в фиксированные моменты времени

Надо успеть передать по каналам связи

- Моделирование климата: 100-1000 дней за сутки

(World Modelling Summit for Climate Prediction, 2008)





Спасибо за внимание!