Современные глобальные прогностические модели атмосферы, используемые в метеорологической службе Канады

This hour's hot and cold spots ...

Hot spot in **Canada**: 21.3 °C Ingonish Beach, NS

Cold spot in **Canada**: -19.2 °C Eureka, NU

09.10. 2016 20:40 UTC

Начало работы над презентацией

Конец работы над презентацией

This hour's hot and cold spots ...

Hot spot in **Canada**: 18.9 °C Estevan Airport, SK

Cold spot in **Canada**: -18.3 °C Eureka, NU

09.10.16 23:55 UTC

Канадские модели атмосферы

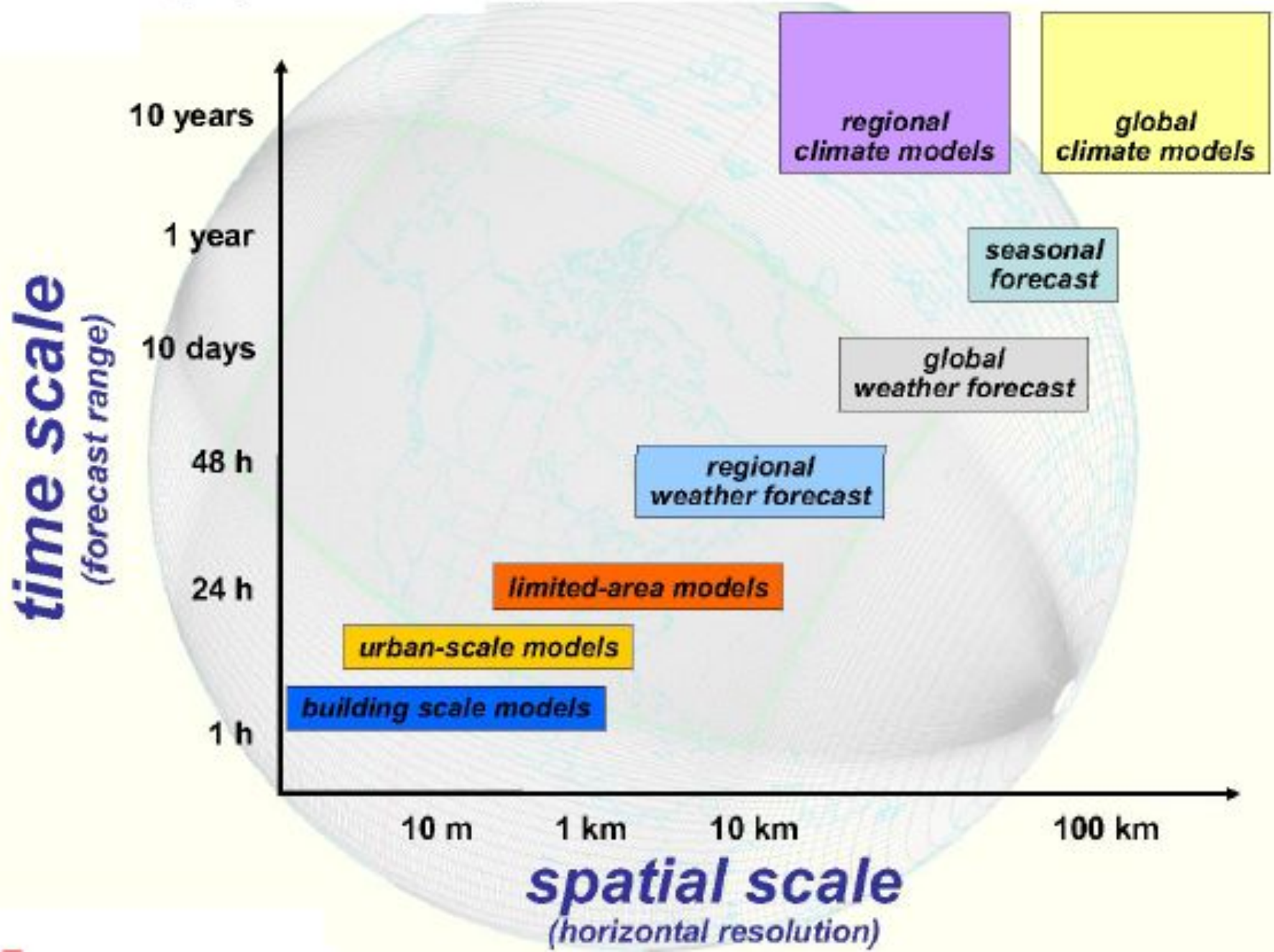
http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/

↓

AGCM1	The first generation atmospheric general circulation model.
AGCM2	The second generation atmospheric general circulation model.
AGCM3	The third generation atmospheric general circulation model.
AGCM4/CanAM4	The fourth generation and current atmospheric general circulation model.
CGCM1	The first generation coupled global climate model.
CGCM2	The second generation coupled global climate model.
CGCM3	The third generation coupled global climate model.
CGCM4/CanCM4	The fourth generation and current coupled global climate model.

(Аналоги нашей климатической модели земной системы INMCM4)

Modeling Systems and Applications at Environment Canada

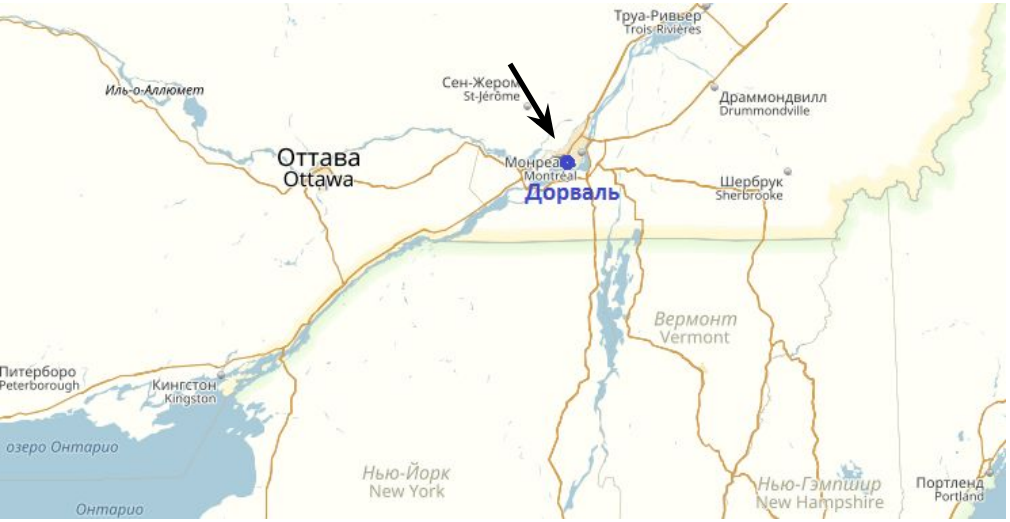


Recherche en Prévision Numérique

Meteorological Research Branch (MRB)

Global Environmental Multiscale Model (GEM)

Canadian Meteorological Centre (CMC)



Находится в Дорвале (Квебек, Канада)

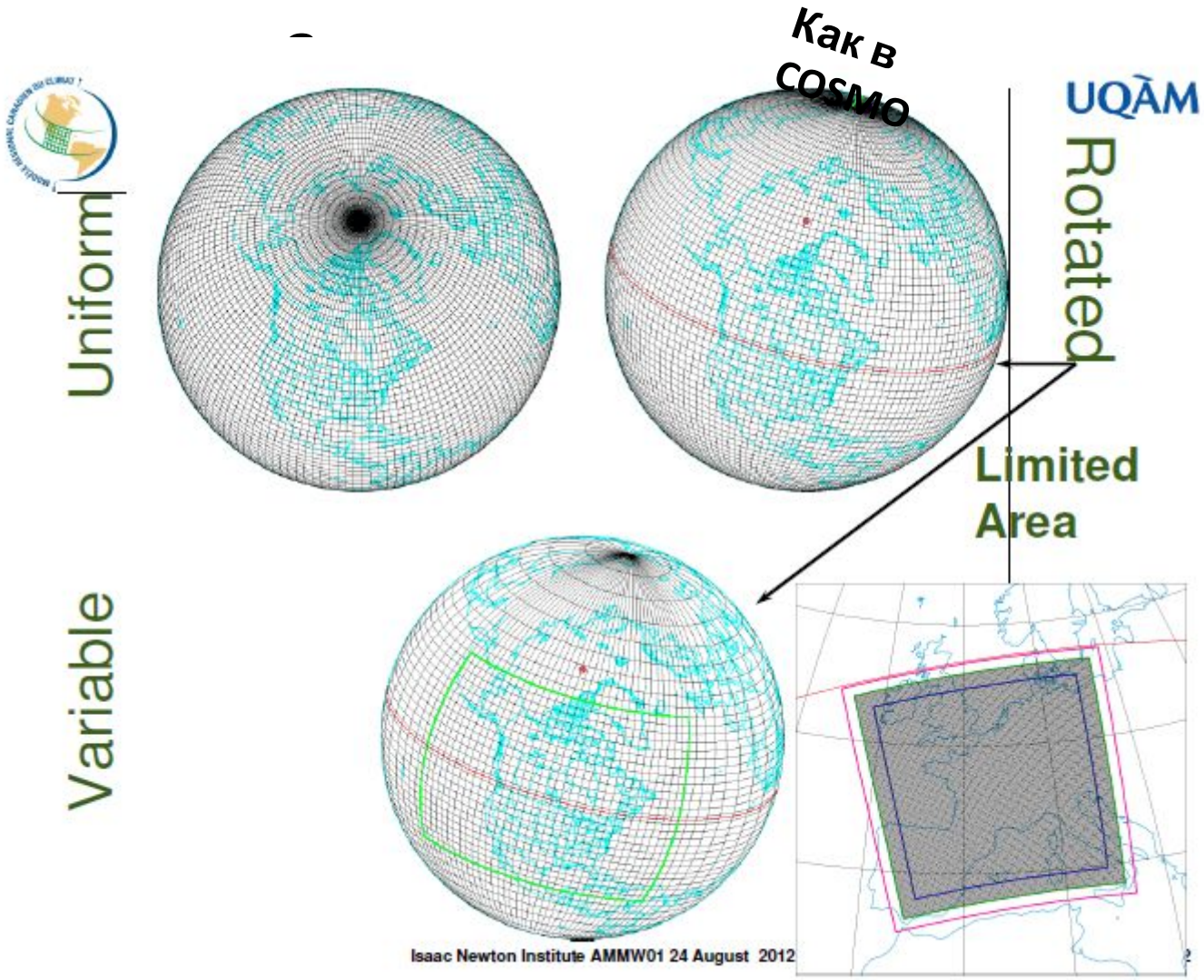
Развитие численного моделирования в Канаде

Предшественники GEM

- Tanguay, M., A, Robert, R. Laprise, 1990: **A Semi-implicit Semi-Lagrangian Fully Compressible Regional Forecast Model**
  - ✔ Полулагранжевая модель
  - ✔ Высота в качестве вертикальной координаты
  - ✔ Модель «пленочной» атмосферы
  - ✔ Ограниченная территория
- Benoit *et al., 1997:* ***The Canadian MC2: A Semi-Lagrangian,*** **Semi-Implicit Wideband Atmospheric Model Suited for Finescale Process Studies and Simulation –** ***начало численных экспериментов***

Global Environmental Multiscale Model (GEM)

Сетк



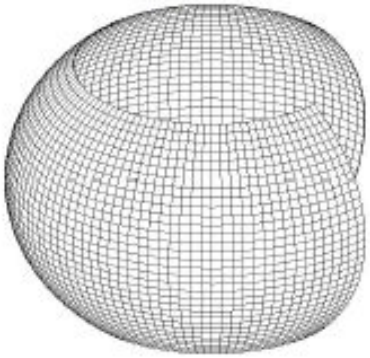
Еще одна сетка

UQÀM

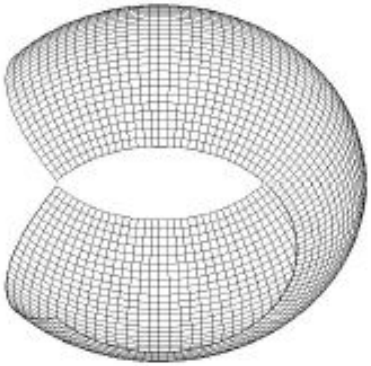
Composite Grid (Yin-Yang)

- Covering the sphere with two overlapping latitude-longitude patches ($\frac{-3\pi}{4} \le \lambda \le \frac{3\pi}{4}; \frac{\pi}{4} \le \theta \le \frac{\pi}{4}$)

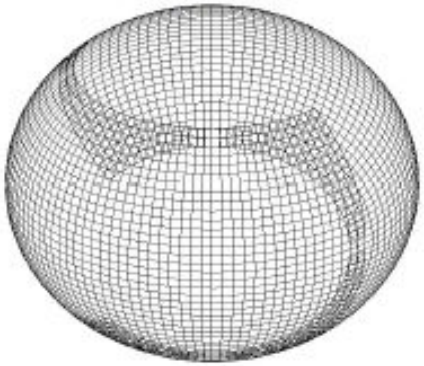
Yang Panel



Yin Panel



Yin-Yang composition



Вертикальное разрешение

k	hyb	z (m)	Δz (m)
...			
32	3.7321E-01	6849.	450.
33	3.9816E-01	6399.	437.
34	4.2401E-01	5962.	426.
35	4.5079E-01	5536.	415.
36	4.7853E-01	5122.	405.
37	5.0722E-01	4717.	394.
38	5.3679E-01	4323.	384.
39	5.6725E-01	3940.	374.
40	5.9861E-01	3566.	365.
41	6.3089E-01	3201.	354.
42	6.6390E-01	2846.	340.
43	6.9721E-01	2506.	309.
44	7.2888E-01	2198.	281.
45	7.5897E-01	1916.	254.
46	7.8721E-01	1663.	231.
47	8.1378E-01	1432.	209.
48	8.3864E-01	1223.	190.
49	8.6186E-01	1033.	172.
50	8.8342E-01	861.	155.
51	9.0341E-01	706.	142.
52	9.2202E-01	564.	128.
53	9.3912E-01	436.	116.
54	9.5491E-01	321.	105.
55	9.6940E-01	216.	95.
56	9.8278E-01	121.	81.
57	9.9425E-01	40.	

8

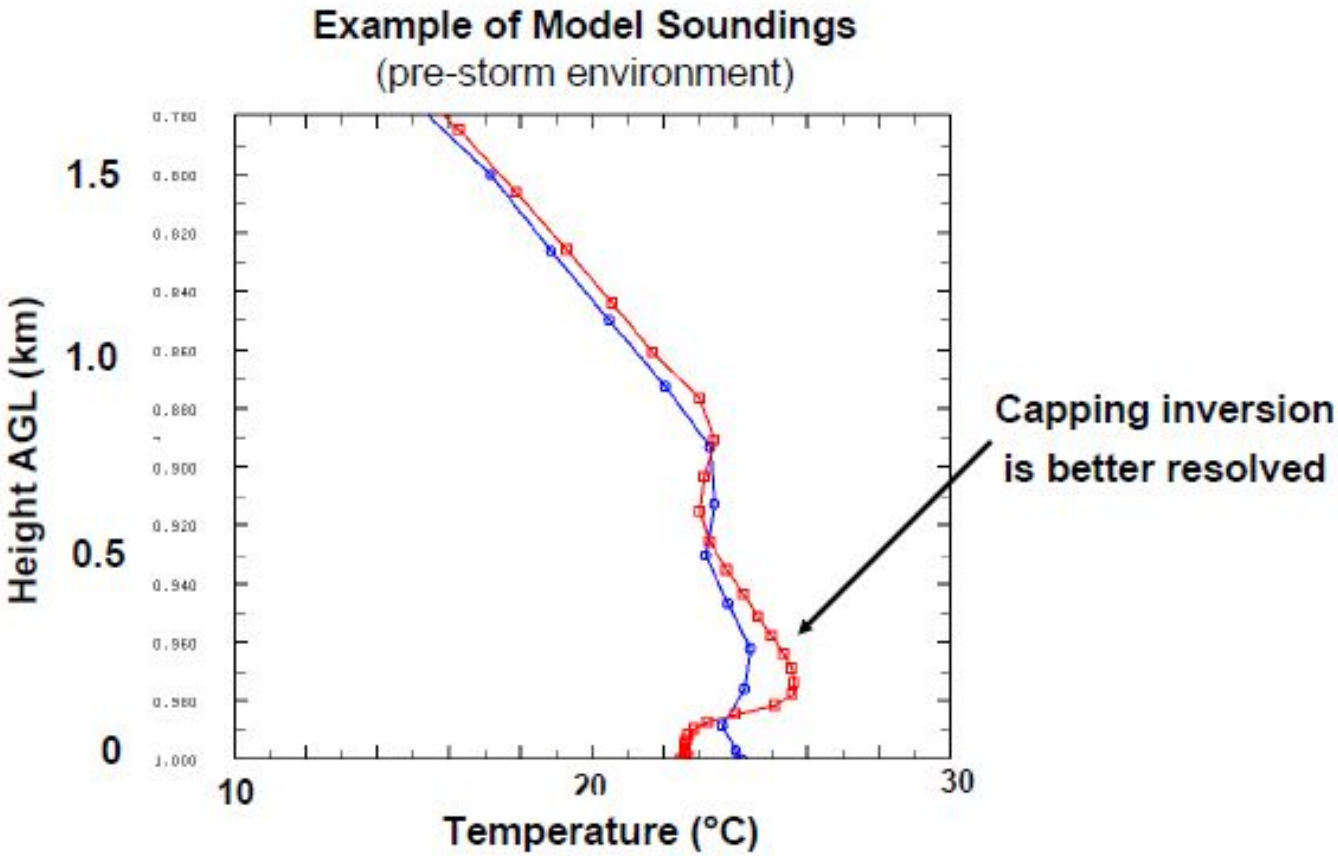
57 levels (current)

k	hyb	z (m)	Δz (m)
...			
47	8.5323E-01	1103.	130.
48	8.6939E-01	973.	117.
49	8.8416E-01	855.	105.
50	8.9762E-01	751.	94.
51	9.0983E-01	657.	84.
52	9.2086E-01	573.	75.
53	9.3080E-01	498.	66.
54	9.3972E-01	432.	59.
55	9.4770E-01	373.	52.
56	9.5481E-01	321.	46.
57	9.6112E-01	276.	40.
58	9.6672E-01	235.	35.
59	9.7166E-01	200.	31.
60	9.7600E-01	169.	27.
61	9.7982E-01	142.	24.
62	9.8316E-01	118.	21.
63	9.8607E-01	97.	18.
64	9.8860E-01	80.	15.
65	9.9080E-01	64.	13.
66	9.9270E-01	51.	11.
67	9.9434E-01	39.	10.
68	9.9575E-01	30.	8.
69	9.9696E-01	21.	7.
70	9.9799E-01	14.	6.
71	9.9888E-01	8.	5.
72	9.9963E-01	3.	

25

72 levels (testing)

Эксперименты с вертикальным разрешением



57 levels (current)

72 levels (testing)

Система уравнений

Задание вертикальных координат

$$\mu = \frac{\partial p}{\partial \pi} - 1$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \pi} = -\frac{RT}{p}$$

$$\ln \pi = A(\zeta) + B(\zeta)s$$

$$s = \ln \pi_S - \zeta_S$$

$$q = \ln(p/\pi)$$

$$\phi_* = -RT_*(\zeta - \zeta_S)$$

Граничные

$$1 + \mu - e^{\overline{q}^{\zeta}}\left[\frac{\delta_\zeta q}{\delta_\zeta(\zeta + Bs)} + 1\right] = 0$$

$$\frac{T}{T_*} + e^{\overline{q}^{\zeta}}\left[\frac{\delta_\zeta(\phi'/RT_* + Bs)}{\delta_\zeta(\zeta + Bs)} - 1\right] = 0$$

$$\frac{d\mathbf{V}_h}{dt} + f\mathbf{k}\mathrm{x}\mathbf{V}_h + R\overline{T}^{\zeta}\nabla_\zeta(Bs + q) + \left(1 + \overline{\mu}^{\zeta}\right)\nabla_\zeta\phi' = \mathbf{F}_h$$ → **Уравнение движен**

$$\frac{dw}{dt} - g\mu = F_w$$ → **Негидростати ка**

$$\frac{d}{dt}\left[\ln\left(\frac{T}{T_*}\right) - \kappa\left(Bs + \overline{q}^{\zeta}\right)\right] - \kappa\dot{\zeta} = \frac{Q}{c_p T}$$ → **Уравнение притока тепла**

$$\frac{d}{dt}\left[Bs + \ln\left(1 + \delta_\zeta Bs\right)\right] + \nabla_\zeta \cdot \mathbf{V}_h + \delta_\zeta\dot{\zeta} + \overline{\dot{\zeta}}^{\zeta} = 0$$ → **Уравнение неразрывности**

$$\frac{d\overline{\phi'}^{\zeta}}{dt} - RT_*\dot{\zeta} - gw = 0$$ → **Уравнение для геопотенциа**

where $\zeta = \ln p - Bs$ is a log-hydrostatic-pressure type coordinate with p the pressure, $B = [(\zeta - \zeta_{\text{top}})/(\zeta_{\text{surf}} - \zeta_{\text{top}})]$ the metric term, $s = \ln p_{\text{surf}} - \zeta_{\text{surf}}$ the mass variable that depends only on the horizontal, T the temperature, $\phi = \phi^* + \phi'$ the geopotential, $\phi^*(\zeta) = -RT^*(\zeta - \zeta_{\text{surf}})$, $T^* = const$ and $\mathbf{V}_h$ the horizontal wind. R is the gas constant and $\kappa = R/c_p$, where c_p is the specific heat at constant pressure. The coordinate system permits a switch-controlled choice between the hydrostatic primitive equations and non-hydrostatic Euler equations. See Girard *et al.* (2010) for additional details.

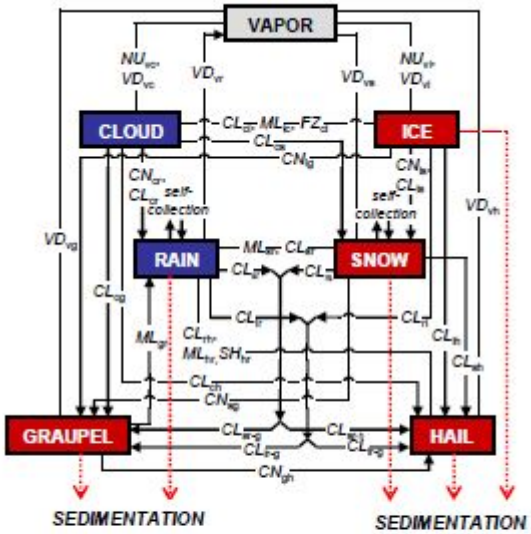
Далее идет дискретизация (пространственна я и временная)

↓

Конечно-разностный метод решения системы

Параметризации

- Негидростатическая модель (уровни до 10 гПа). Количество точек сетки в области интегрирования 560 x 494 (2005)
- Рельеф и растительность задается на основе глобальных баз данных с высоким разрешением (Геологическая служба США)
- 4 типа поверхностей: земная поверхность и разного рода растительностью (Interactions between Soil-Biosphere-Atmosphere, открытая вода, морской лед, ледники и деловые щиты)
- Турбулентность в граничном слое считается через коэффициенты турбулентности
- Используется схема микроконденсации (Kong and Yau, 1997)
- Учет гравитационных волн
- A shallow convective scheme (Kuo-Transient), to represent overshooting cumulus cloud activity (see Bélair et al., 2005)
- И др.



Six hydrometeor categories:

2 liquid: ***cloud***, ***rain***

4 frozen: ***ice***, ***snow***, ***graupel***, ***hail***

For each category *x = c, r, i, s, g, h*:

$$N_x(D) = N_{0x} D^{\alpha_x} e^{-\lambda_x D}$$

Prognostic variables

q_x, N_x (12)

Current MY2 scheme:

SNOW
$\rho_s = f(D_s)$
$V = a_s D^{bs}$

GRAUPEL
$\rho_g = 400$ kg m^{-3}
$V = a_g D^{bg}$

HAIL
$\rho_h = 900$ kg m^{-3}
$V = a_h D^{bh}$

Modified MY2 scheme:

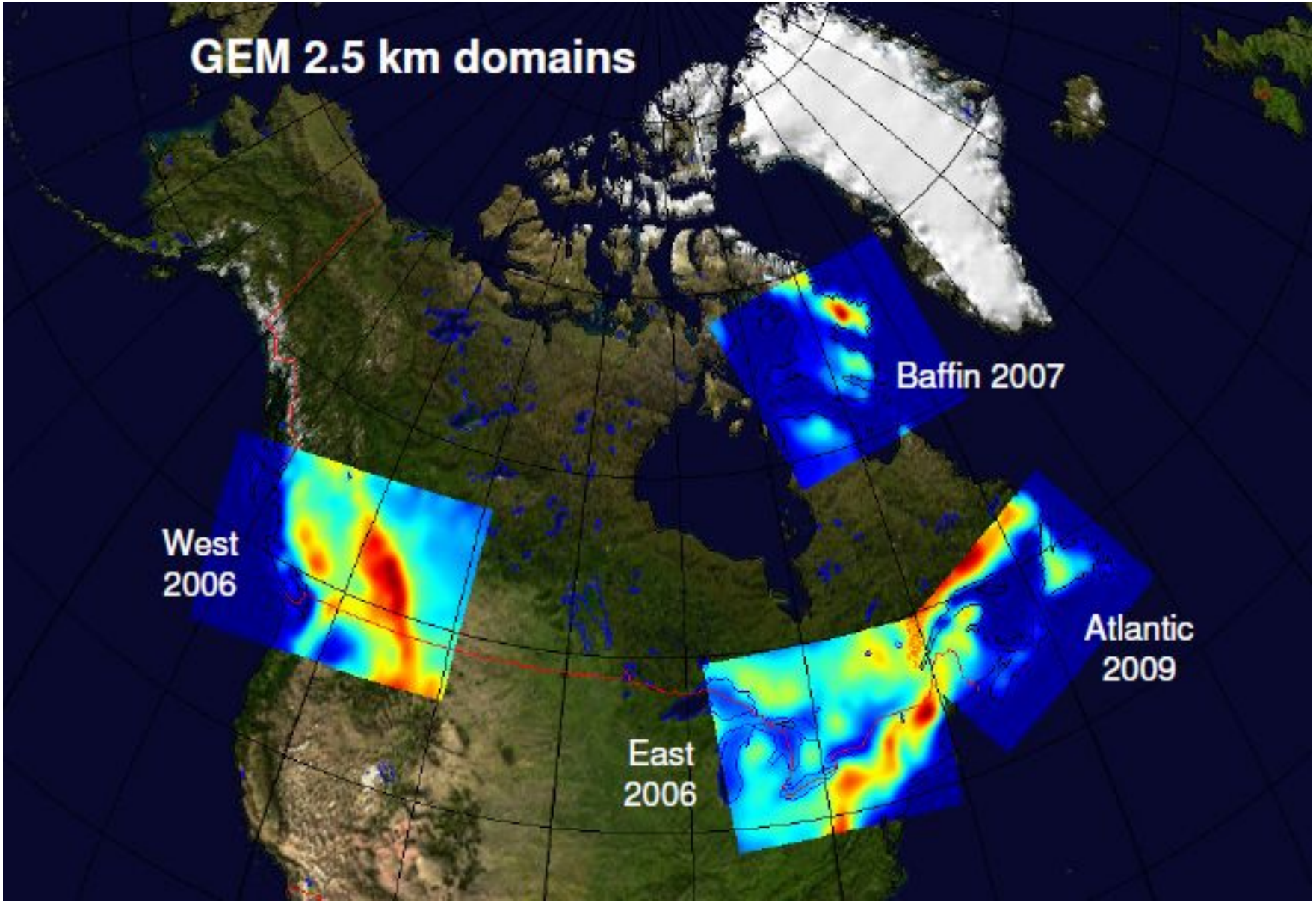
SNOW
$\rho_s = f(D_s)$
$V = a_s D^{bs}$

GRAUPEL
ρ_g is predicted
$V = a_g(\rho_g) D^{bg(\rho_g)}$

HAIL
$\rho_h = 900$ kg m^{-3}
$V = a_h D^{bh}$

SMOOTHER TRANSITION
between categories

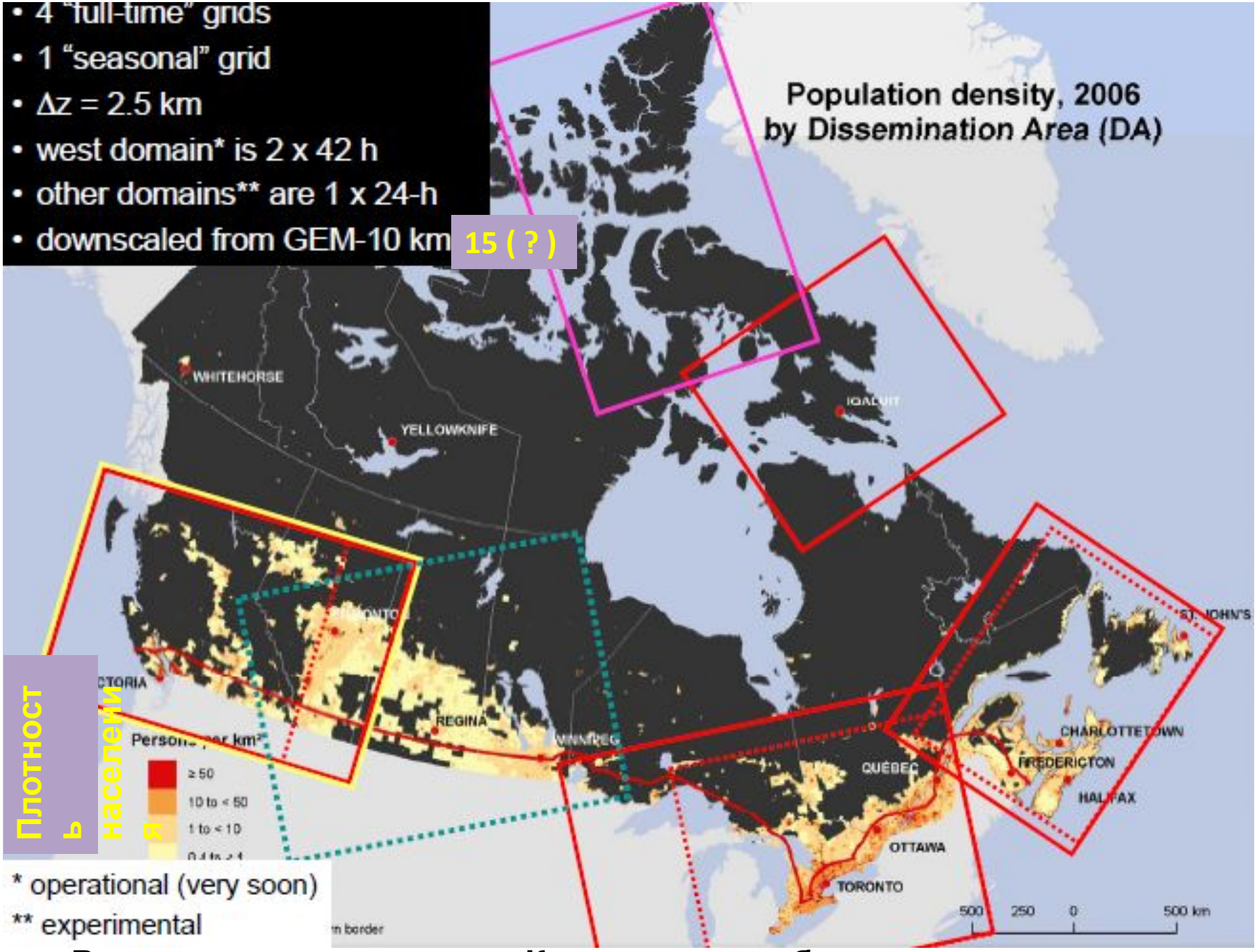
Области



(на август 2012)

- 4 "full-time" grids
- 1 "seasonal" grid
- $\Delta z = 2.5$ km
- west domain* is 2 x 42 h
- other domains** are 1 x 24-h
- downscaled from GEM-10 km

15 (?)

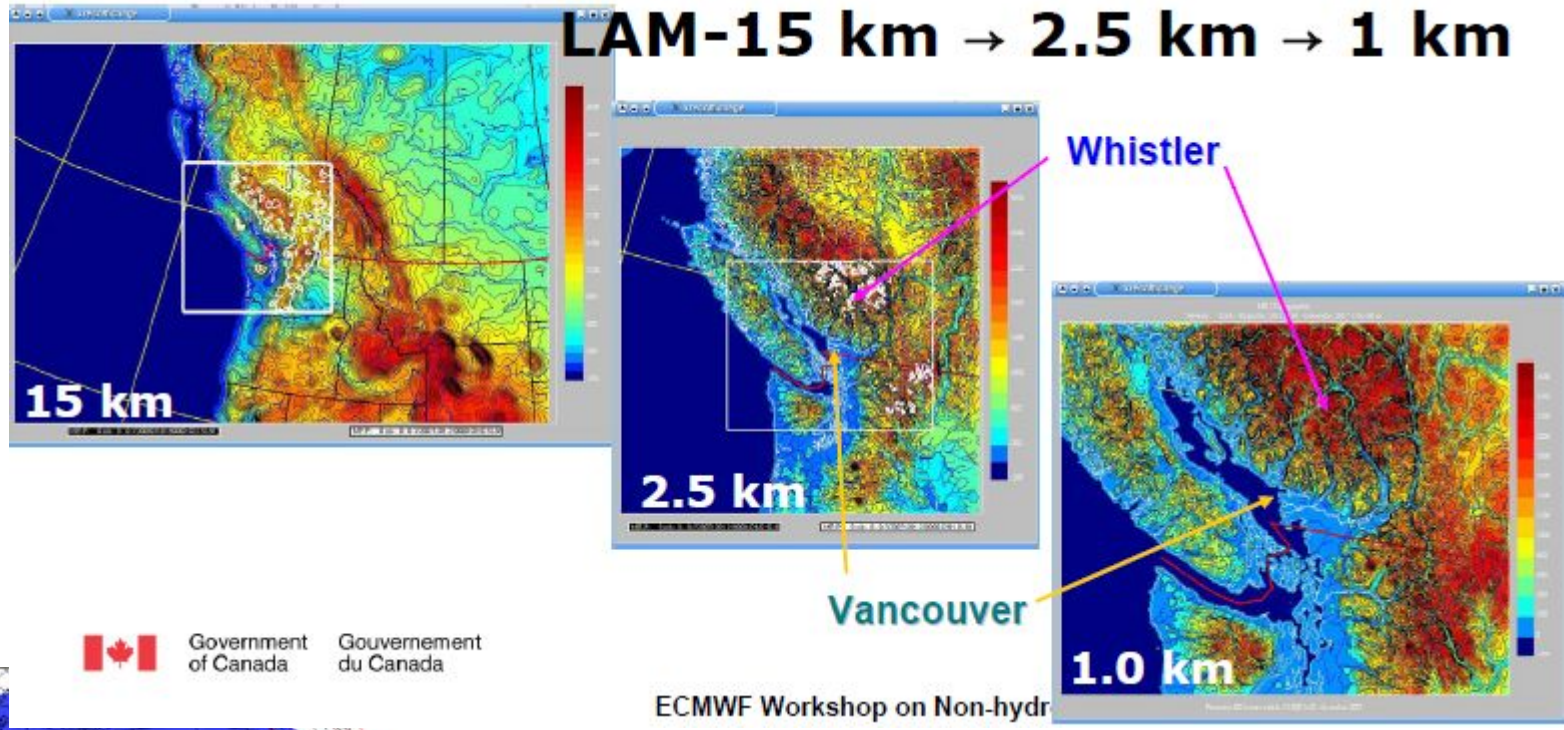


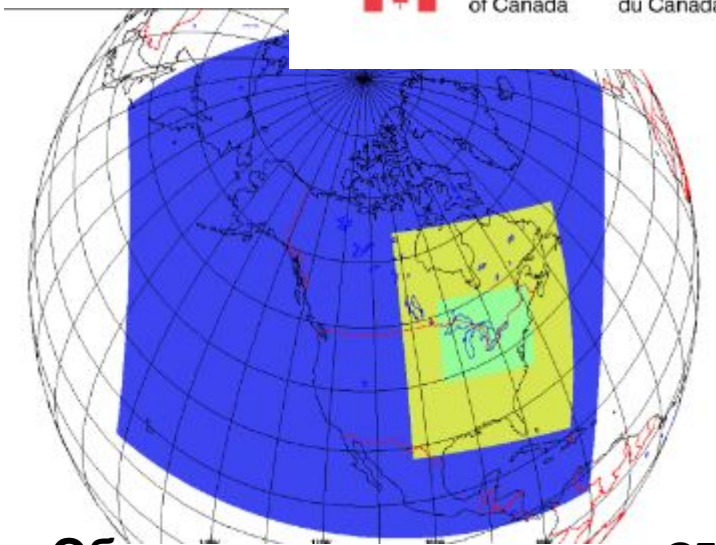
Плотность населения

* operational (very soon)

** experimental

В 2016 году вся территория Канады должна быть переведена на 2.5-





Передача граничных условий от моделей с грубым разрешением моделям с более высоким разрешением – как в COSMO
Откуда берутся изначальные граничные условия (?)

Области интегрирования GEM:
онтинентальный домен (синий, шаг 15 км),
егиональный домен (салатовый, шаг 15 км)
+

Эксперименты с увеличением разрешения до 1 км:

- 2008 г. - 1-й эксперимент в провинции Альберта (видимо, пробный)
- 2010 – зимняя олимпиада/паралимпиада в Ванкувере
- 2014 – зимняя олимпиада/паралимпиада в Сочи
- 2015 – панамериканские игры в Торонто

Sport and Weather	New Snow (24 hours)	Wind	Visibility	Rain	Low Temp	High Temp	Wind Chill
Downhill,Slalom, Giant Slalom	> 30 cm	Constant above 17 m/s or gusts > 17 m/s	< 20 m on the entire course>	15mm in 6 hours or less			> -25
	> 15 cm and < 30 cm	Constant 11 m/s to 17 m/s <	20 m on portions of the course	Mixed precipitation			
	>5 cm >2 cm within 6h of an event	Gusts above 14 m/s but < 17 m/s>	>20m but <50m on whole or part of the course				

2010 Sports/Weather Threshold matrix;
Red text = Critical Decision point
Orange text = Significant decision point
Green text = Factor to consider

Government of Canada Gouvernement du Canada

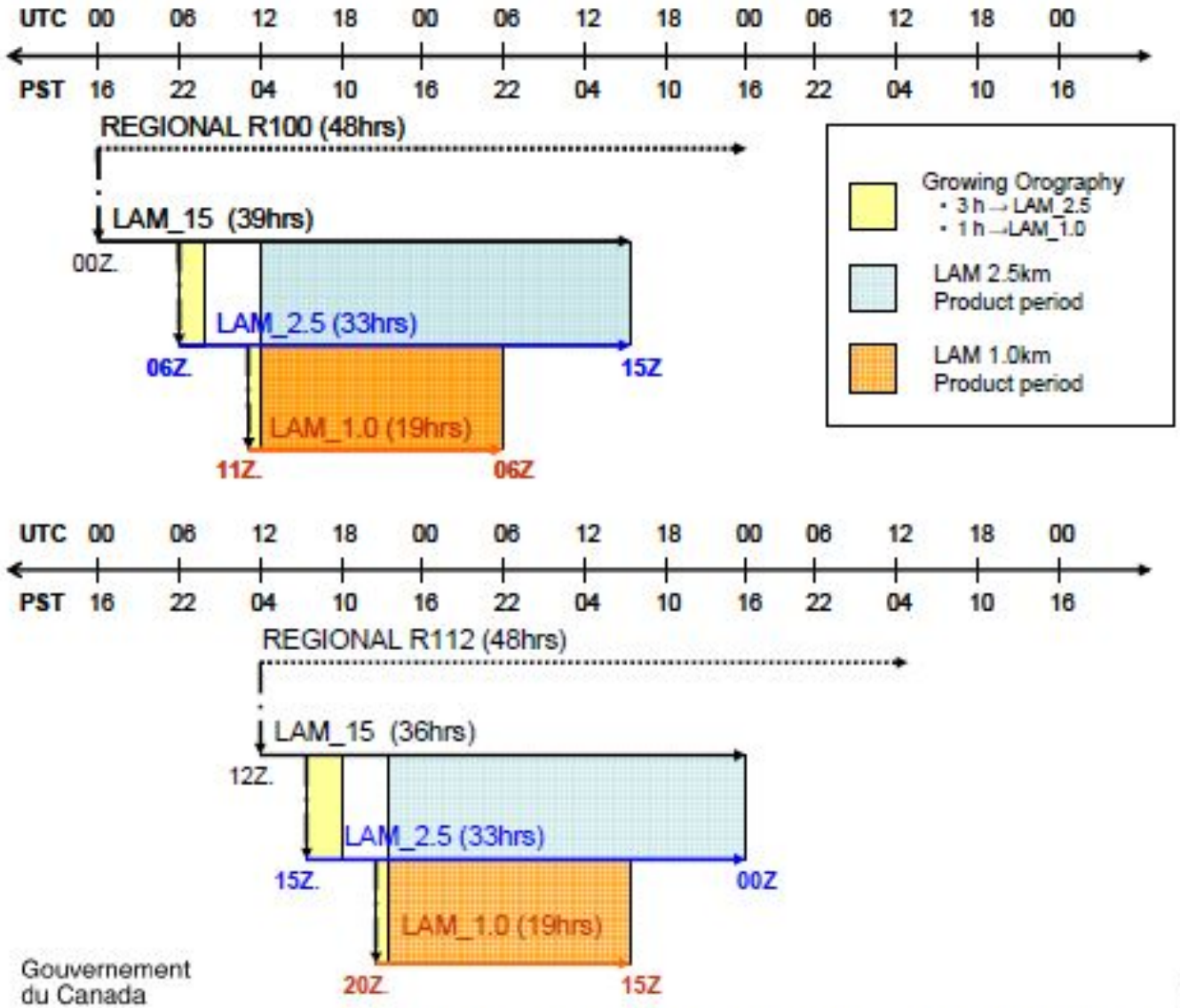
Canada

ECMWF Workshop on Non-hydrostatic Modelling

1

Пороговые значения

Заблаговременность



Источники/Литература

- http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/
- https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Environmental_Multiscale_Model
- https://www.cmascenter.org/conference/2013/abstracts/zhang_sensitivity_simulated_2013.pdf
- http://www.yorku.ca/pat/research/dsills/papers/MP11/Erfani_et_al_2005.pdf
- https://www.eol.ucar.edu/projects/ceop/dm/model/cmc/E_GEM_t10.pdf
- http://www.newton.ac.uk/files/seminar/20120824153016001-153260.pdf
- http://srnwp.met.hu/workshops/Offenbach_2013/22Milbrandt-20130514-Offenbach.pdf
- http://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2010/15129-workshop-non-hydrostatic-modelling-global-environmental-multiscale-gem-model.pdf

Спасибо за внимание!