

# Моделирование циркуляции Западно-Арктических морей РФ на основе современных технологий численного моделирования и оценка водообмена через Карские Ворота

<sup>1,2</sup>**Дианский Н.А.**

при участии

<sup>2</sup>Фомина В.В., <sup>1,3</sup>Гусева В.А., <sup>2</sup>Кабатченко И.М.

<sup>1</sup>Институт вычислительной математики РАН

<sup>2</sup>Государственный океанографический институт

<sup>3</sup>Институт океанологии РАН

E-mail: [nikolay.diansky@gmail.com](mailto:nikolay.diansky@gmail.com)

*Севастополь, 2016*

# План

1. Краткое описание INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model).
2. Использование INMOM для расчета циркуляции Мирового океана, Черного моря.
3. Описание системы оперативного и ретроспективного расчета циркуляции Западно-Арктических морей РФ.
4. Важность кatabатических ветров в формировании циркуляции Арктических морей РФ.
5. Параметры водообмена между Карским и Печорским морями через пролив Карские ворота.
6. Расчет дрейфа морского льда.
7. Влияние Северо-Атлантического колебания на циркуляцию Западно-Арктических морей РФ.
8. Отклик гидрометеорологических характеристик на воздействие от экстремальных полярных циклонов.



# Расщепление задачи по физическим процессам

## 1. Перенос-диффузия

$$\tilde{D}_t \theta = \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{v_\theta}{H} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} + D\theta + \frac{\partial R}{\partial \sigma},$$

$$\tilde{D}_t S = \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{v_s}{H} \frac{\partial S}{\partial \sigma} + DS.$$

$$D_t u - \xi v H = \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + Fu,$$

$$D_t v + \xi u H = \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + Fv,$$

$$\xi = \frac{1}{r_x r_y} \left( \frac{\partial r_y}{\partial x} v - \frac{\partial r_x}{\partial y} u \right)$$

## 2. Адаптация

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} - lv = -\frac{1}{r_x} \left( \frac{1}{\rho_0} P_x + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + lu = -\frac{1}{r_y} \left( \frac{1}{\rho_0} P_y + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right), \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{r_x r_y} \left( \frac{\partial r_y u H}{\partial x} + \frac{\partial r_x v H}{\partial y} \right) + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma}. \end{cases}$$

(далее для переноса-диффузии импульса производится расщепление по координатам)

## Расщепление блока адаптации

Баротропная адаптация (линейные уравнения мелкой воды)

Генерация движения

Разделение скоростей на бароклинные и баротропные

Бароклинная адаптация и вычисление вертикальной скорости

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0 r_x} P_x,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0 r_y} P_y.$$

$$u = \bar{u} + u', \quad v = \bar{v} + v',$$

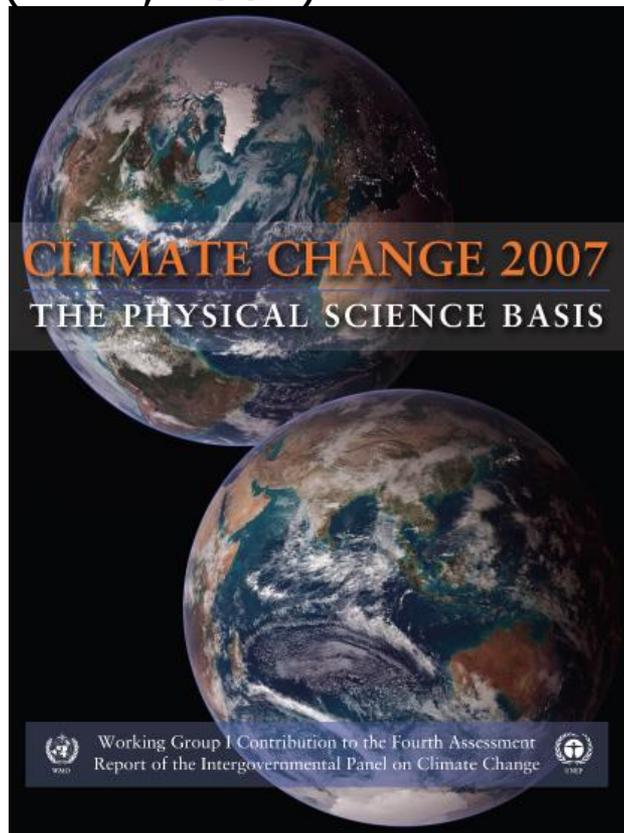
$$\begin{cases} \frac{\partial u'}{\partial t} - lv' = 0, \\ \frac{\partial v'}{\partial t} + lu' = 0, \end{cases}$$

$$\omega = \int_1^\sigma \frac{1}{r_x r_y} \left( \frac{\partial u' r_y H}{\partial x} + \frac{\partial v' r_x H}{\partial y} \right) d\sigma.$$

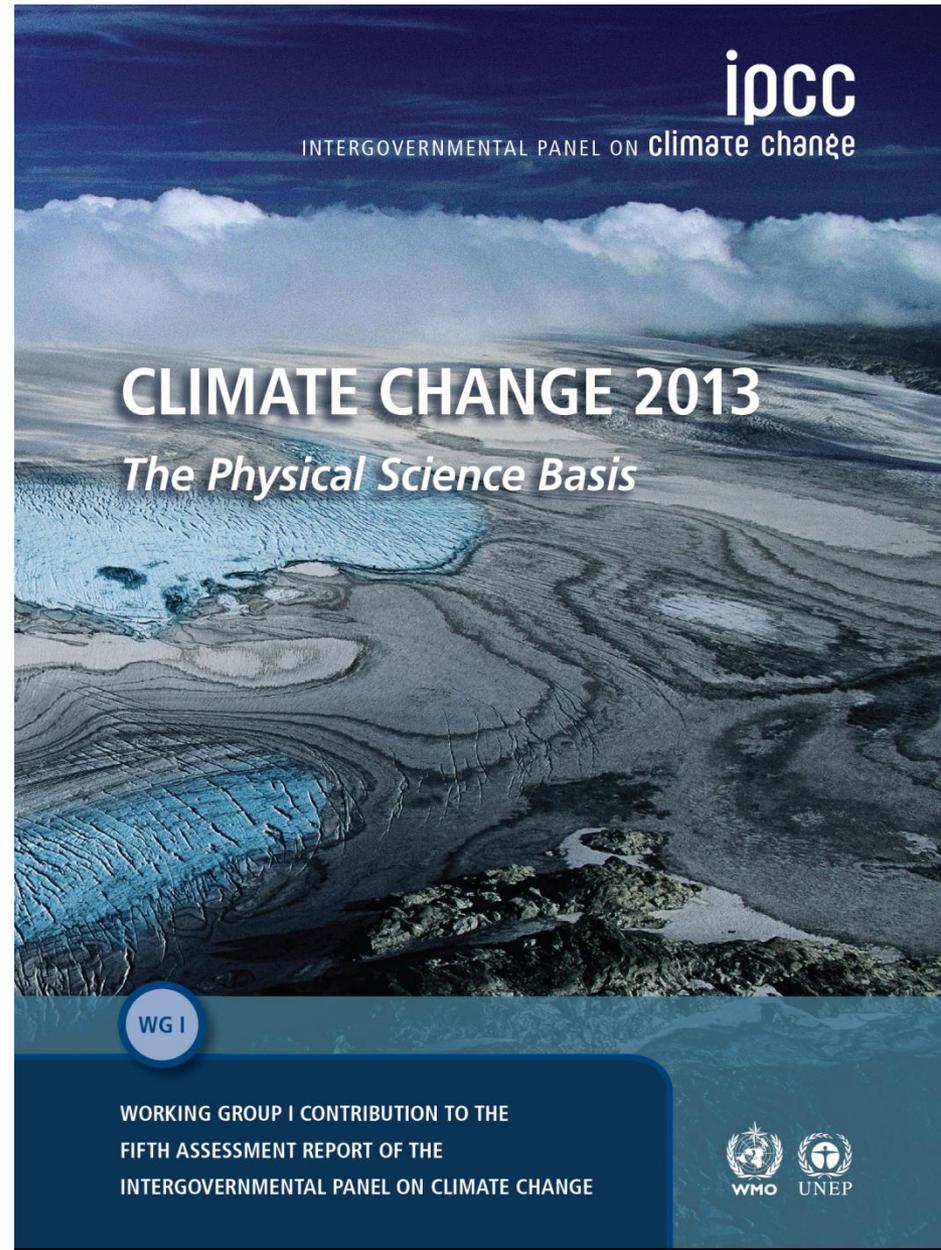
$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} - l\bar{v} = \frac{1}{r_x} \left( g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} \right), \\ \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + l\bar{u} = \frac{1}{r_y} \left( g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} \right), \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{r_x r_y} \left( \frac{\partial r_y \bar{u} H}{\partial x} + \frac{\partial r_x \bar{v} H}{\partial y} \right), \end{cases}$$

The global version of the INMOM is used as the oceanic component of Russian IPCC climate model INMCM (Institute of Numerical Mathematics Climate Model).

INMCM3 with INMOM of  $2 \times 2.5$  deg. resolution was presented in the IPCC Fourth Assessment Report (AR-4, 2007).



INMCM4 with INMOM of  $0.5 \times 1$  deg. resolution is presented in the IPCC AR-5.





## Special issue: CORE-II Virtual Special Issue

## North Atlantic simulations in Coordinated Ocean-ice Reference Experiments phase II (CORE-II). Part I: Mean states



Gokhan Danabasoglu<sup>a,\*</sup>, Steve G. Yeager<sup>a</sup>, David Bailey<sup>a</sup>, Erik Behrens<sup>b</sup>, Mats Bentsen<sup>c</sup>, Daohua Bi<sup>d</sup>, Arne Biastoch<sup>b</sup>, Claus Böning<sup>b</sup>, Alexandra Bozec<sup>e</sup>, Vittorio M. Canuto<sup>f</sup>, Christophe Cassou<sup>g</sup>, Eric Chassignet<sup>e</sup>, Andrew C. Coward<sup>h</sup>, Sergey Danilov<sup>i</sup>, Nikolay Diansky<sup>j</sup>, Helge Drange<sup>k</sup>, Riccardo Farneti<sup>l</sup>, Elodie Fernandez<sup>g</sup>, Pier Giuseppe Fogli<sup>m</sup>, Gael Forget<sup>n</sup>, Yosuke Fujii<sup>o</sup>, Stephen M. Griffies<sup>p</sup>, Anatoly Gusev<sup>j</sup>, Patrick Heimbach<sup>n</sup>, Armando Howard<sup>f,q</sup>, Thomas Jung<sup>i</sup>, Maxwell Kelley<sup>f</sup>, William G. Large<sup>a</sup>, Anthony Leboissetier<sup>f</sup>, Jianhua Lu<sup>e</sup>, Gurvan Madec<sup>r</sup>, Simon J. Marsland<sup>d</sup>, Simona Masina<sup>m,s</sup>, Antonio Navarra<sup>m,s</sup>, A.J. George Nurser<sup>h</sup>, Anna Pirani<sup>t</sup>, David Salas y Méliá<sup>u</sup>, Bonita L. Samuels<sup>p</sup>, Markus Scheinert<sup>b</sup>, Dmitry Sidorenko<sup>i</sup>, Anne-Marie Treguier<sup>v</sup>, Hiroyuki Tsujino<sup>o</sup>, Petteri Uotila<sup>d</sup>, Sophie Valcke<sup>g</sup>, Aurore Voldoire<sup>u</sup>, Qiang Wang<sup>i</sup>

<sup>a</sup> National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, CO, USA

<sup>b</sup> Helmholtz Center for Ocean Research, GEOMAR, Kiel, Germany

<sup>c</sup> Uni Climate, Uni Research Ltd., Bergen, Norway

<sup>d</sup> Centre for Australian Weather and Climate Research, A Partnership between CSIRO and the Bureau of Meteorology, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Melbourne, Australia

<sup>e</sup> Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies (COAPS), Florida State University, Tallahassee, FL, USA

<sup>f</sup> NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS), New York, NY, USA

<sup>g</sup> Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS), Toulouse, France

<sup>h</sup> National Oceanography Centre Southampton (NOCS), Southampton, UK

<sup>i</sup> Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Bremerhaven, Germany

<sup>j</sup> Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>k</sup> University of Bergen, Bergen, Norway

<sup>l</sup> International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy

<sup>m</sup> Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), Bologna, Italy

<sup>n</sup> Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA

<sup>o</sup> Meteorological Research Institute (MRI), Japan Meteorological Agency, Tsukuba, Japan

<sup>p</sup> NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), Princeton, NJ, USA

<sup>q</sup> Medgar Evers College of the City University of New York, Brooklyn, NY, USA

<sup>r</sup> IPSL/LOCEAN, CNRS-IRD-UPMC, Paris, France

<sup>s</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Bologna, Italy

<sup>t</sup> International CLIVAR Project Office, National Oceanography Centre, Southampton, UK

<sup>u</sup> Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), Toulouse, France

<sup>v</sup> Laboratoire de Physique des Océans, UMR 6523, CNRS-Ifremer-IRD-UBO, IUEM, Plouzane, France

## ARTICLE INFO

## Article history:

Available online 8 November 2013

## Keywords:

Global ocean–sea-ice modelling  
Ocean model comparisons  
Atmospheric forcing  
Experimental design  
Atlantic meridional overturning circulation  
North Atlantic simulations

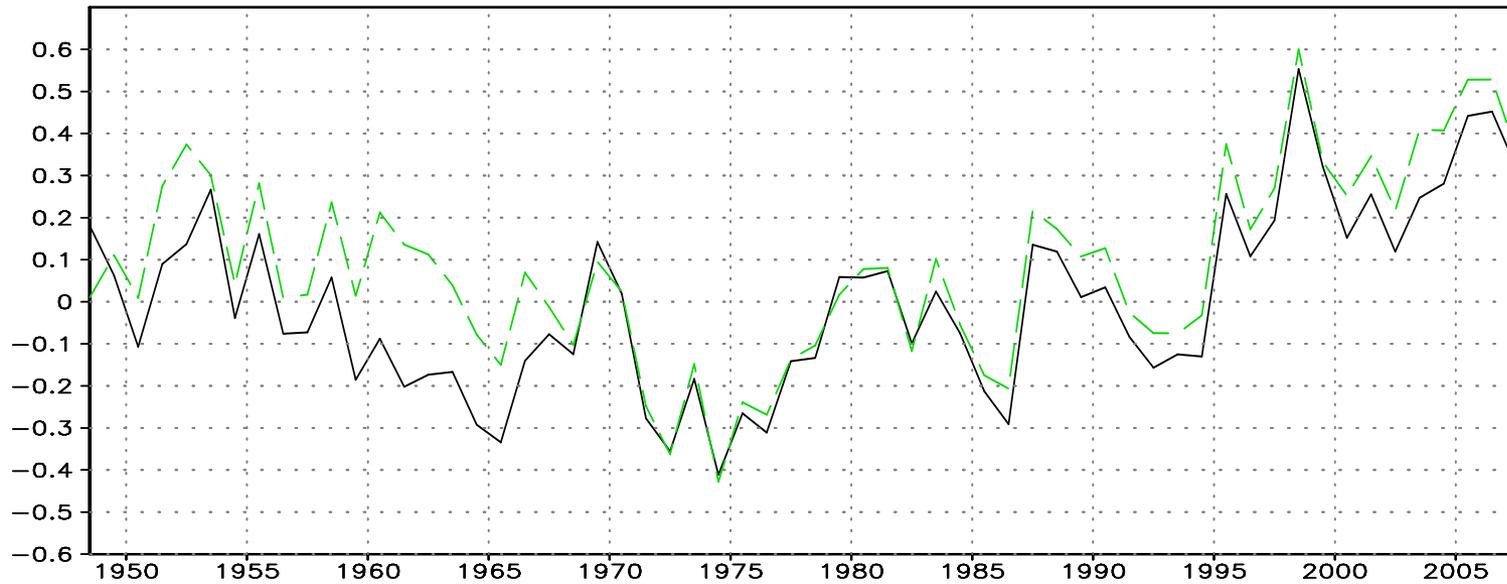
## ABSTRACT

Simulation characteristics from eighteen global ocean–sea-ice coupled models are presented with a focus on the mean Atlantic meridional overturning circulation (AMOC) and other related fields in the North Atlantic. These experiments use inter-annually varying atmospheric forcing data sets for the 60-year period from 1948 to 2007 and are performed as contributions to the second phase of the Coordinated Ocean-ice Reference Experiments (CORE-II). The protocol for conducting such CORE-II experiments is summarized. Despite using the same atmospheric forcing, the solutions show significant differences. As most models also differ from available observations, biases in the Labrador Sea region in upper-ocean potential temperature and salinity distributions, mixed layer depths, and sea-ice cover are identified as contributors to differences in AMOC. These differences in the solutions do not suggest an obvious grouping of the models based on their ocean model lineage, their vertical coordinate representations, or surface salinity restoring strengths. Thus, the solution differences among the models are attributed primarily to use of different subgrid scale parameterizations and parameter choices as well as to differences in vertical

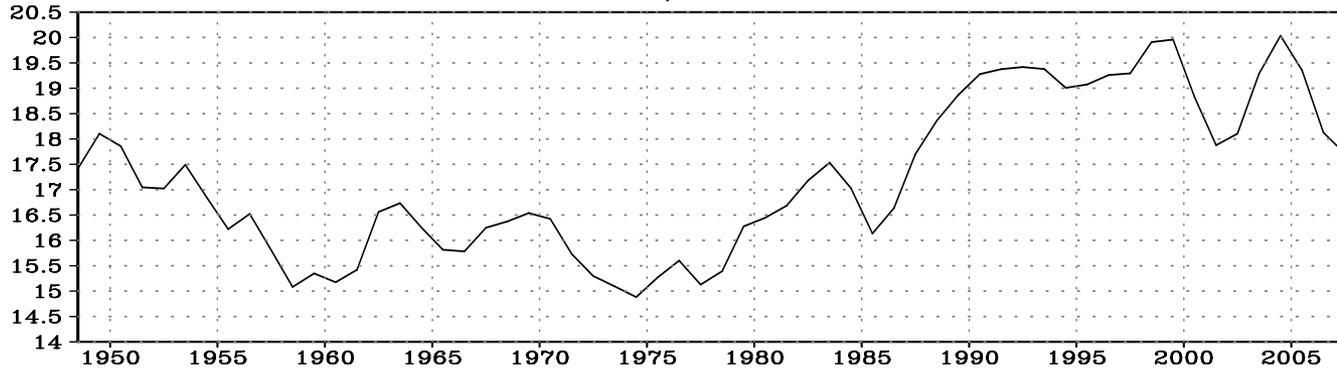
\* Corresponding author. Tel.: +1 303 497 1604; fax: +1 303 497 1700.

E-mail address: [gokhan@ucar.edu](mailto:gokhan@ucar.edu) (G. Danabasoglu).

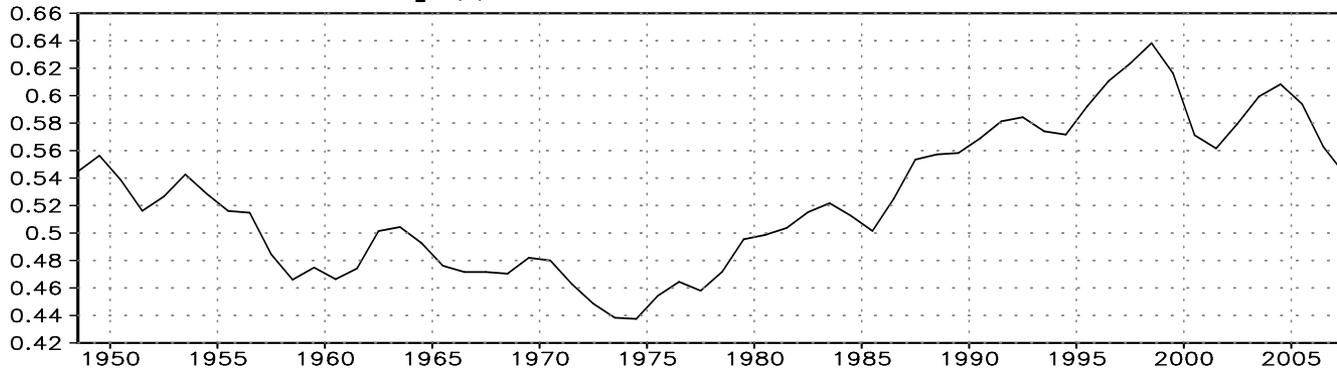
Индекс АМО за 1948–2007  
Сплошная — модель, пунктир — наблюдения



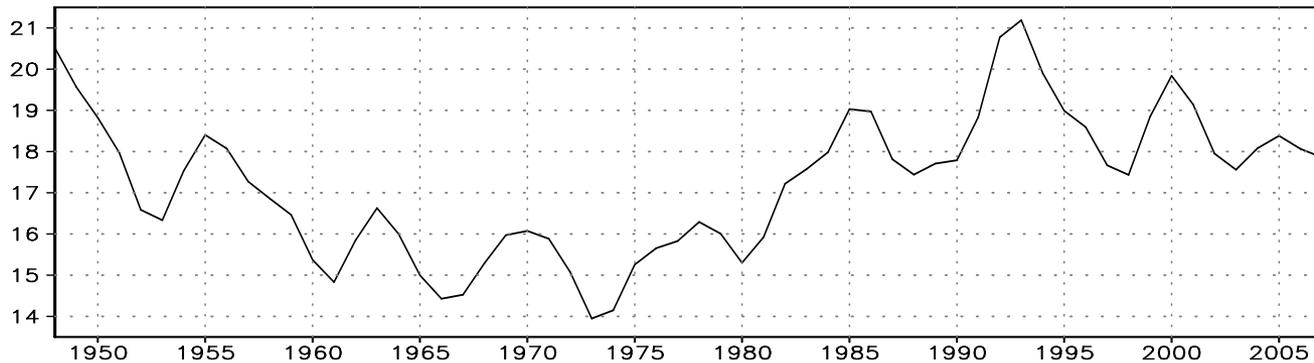
**Индекс АТХЦ в Атлантике, Св**



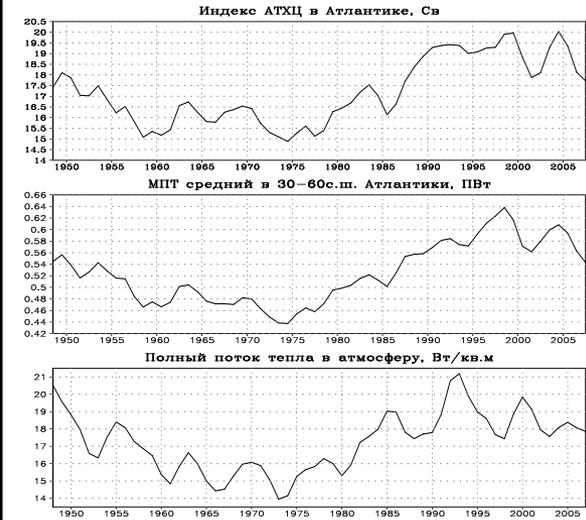
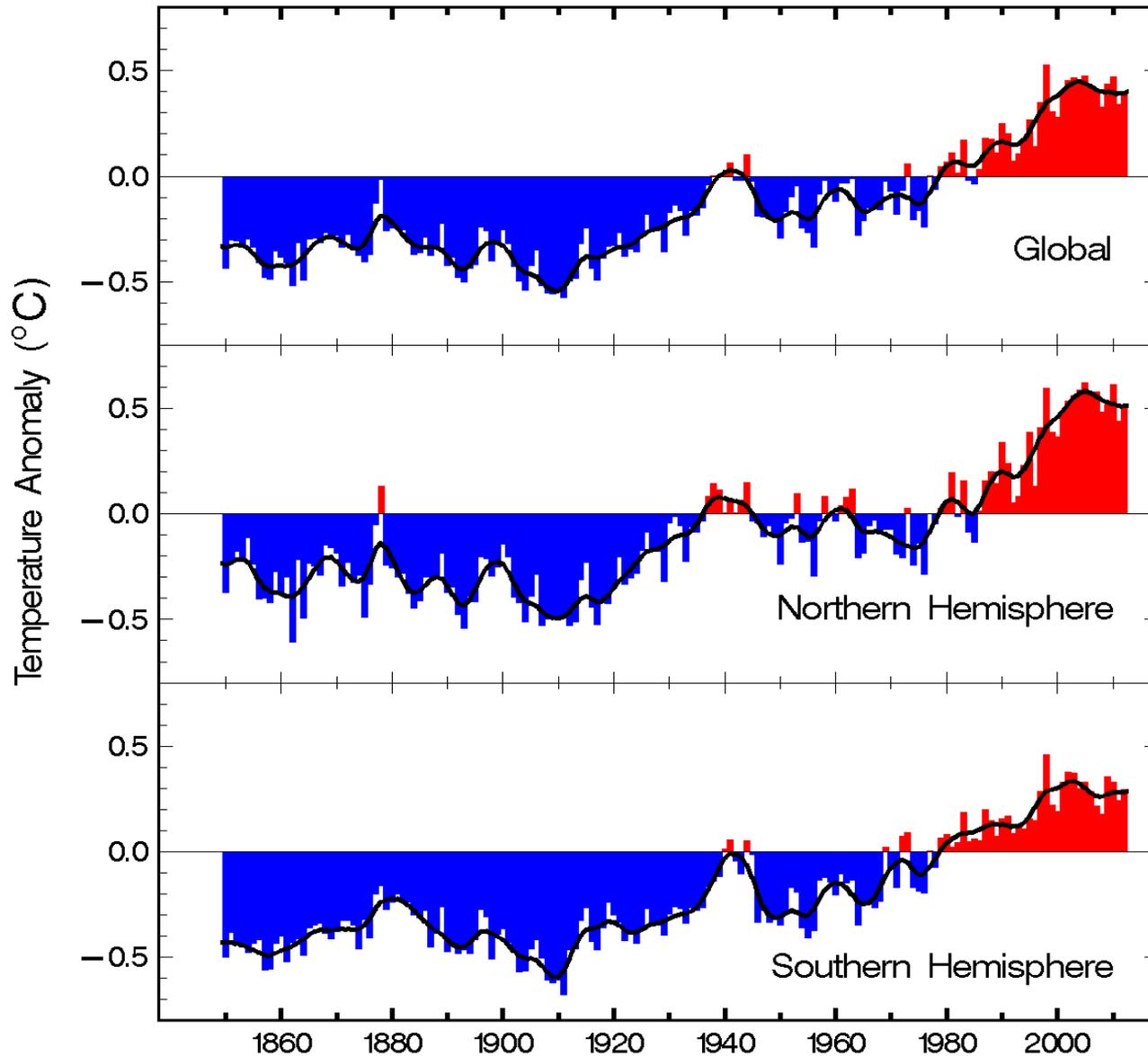
**МПТ средний в 30–60с.ш. Атлантики, ПВт**



**Полный поток тепла в атмосферу, Вт/кв.м**



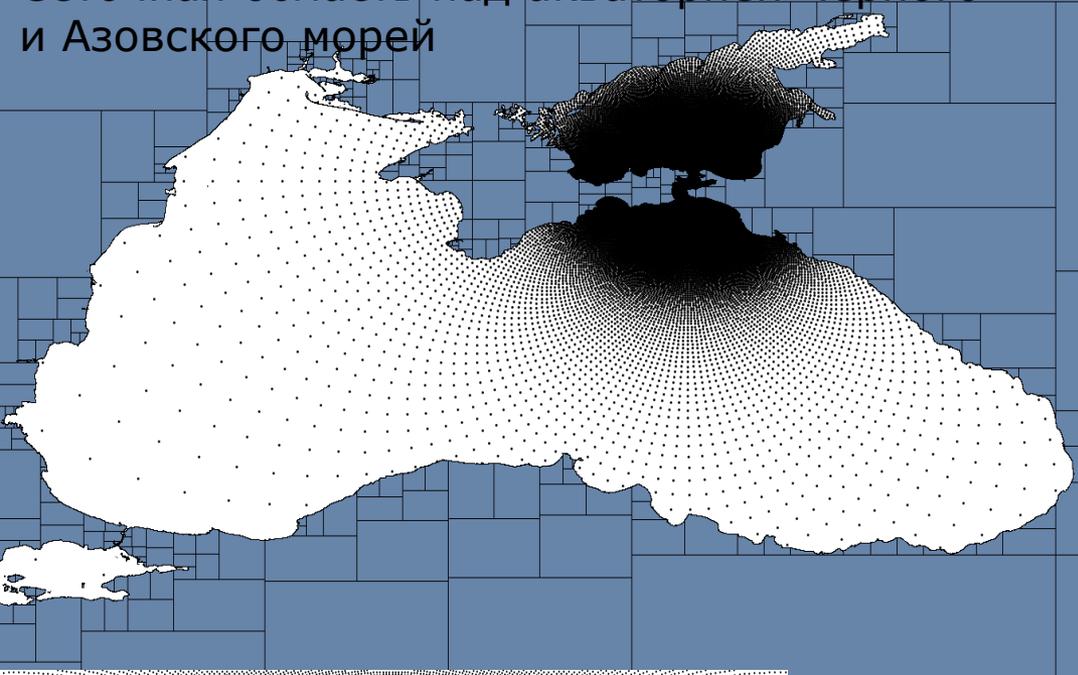
# Global and Hemispheric Annual Temperature Anomalies 1850–2012



Source: P. D. Jones, T. J. Osborn, and K. R. Briffa  
University of East Anglia, Norwich, UK  
D. E. Parker, Met. Office, Bracknell, Berkshire, UK

# Реализация модели морской циркуляции INMOM для Керченского пролива с целью гидрометобеспечения строительства Керченского моста.

Сеточная область над акваторией Черного и Азовского морей



Сеточная область модели морской циркуляции получена путем переноса северного и южного полюсов с помощью дробно-линейного преобразования Мебиуса. Перенос полюсов осуществлялся в точки с координатами  $36,158321^\circ$  в.д.  $45,265857^\circ$  с.ш. для северного полюса и  $37,134731^\circ$  в.д.  $45,249368^\circ$  с.ш. для южного полюса. Поскольку используется математически точная сферическая система координат, то никаких топологических искажений при расчете полей течений не вносится, в отличие от зачастую используемых декартовых систем координат, «натягиваемых» на сферичную поверхность Земли.

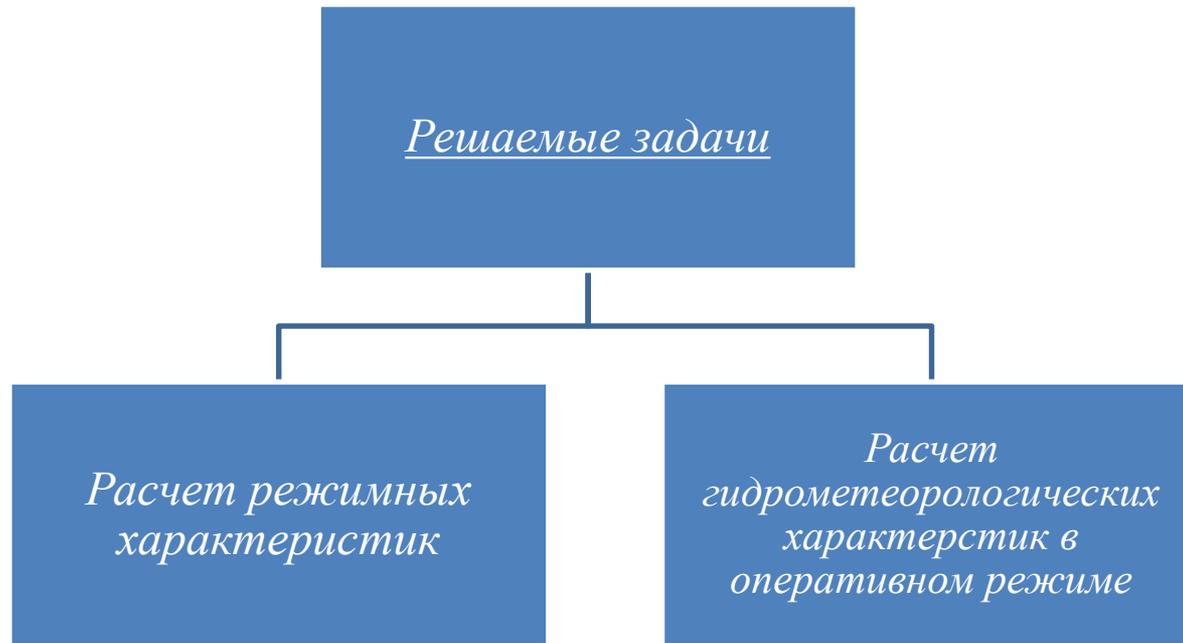
Сеточная область над акваторией Керченского пролива



Сеточная область в районе предполагаемого места строительства моста.



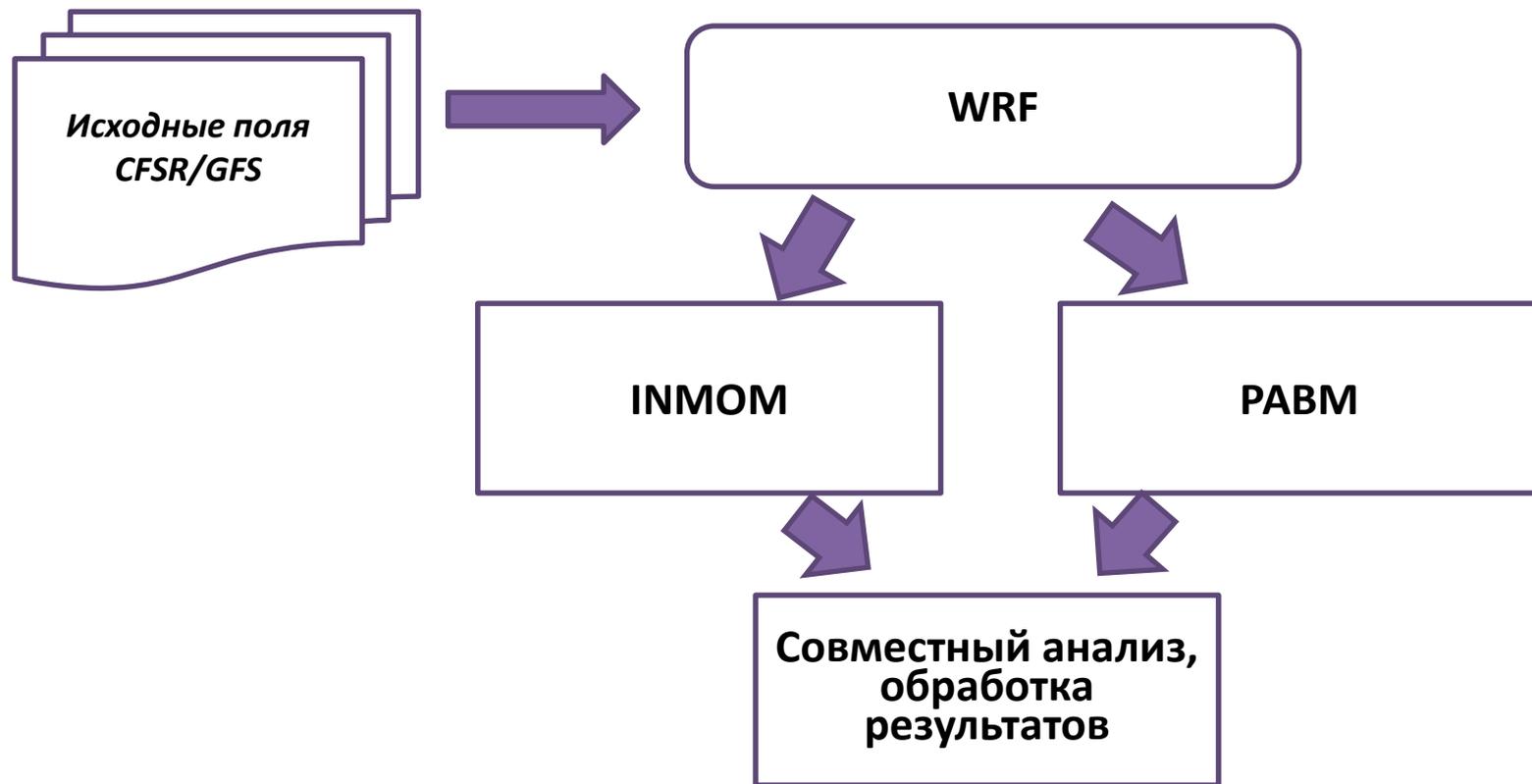
# *Численное моделирование гидрометеорологических параметров*



## **Расчетные гидрометеорологические параметры:**

- Атмосферное воздействие.
- Гидротермодинамические характеристики моря.
- Ветровое волнение.
- Характеристики морского льда.
- Литодинамические характеристики.

# Система моделирования гидрометеорологических характеристик



CSFR – глобальный массив реанализа атмосферных характеристик с разрешением  $0.5 \times 0.5^\circ$  градуса и дискретностью по времени в 6 часов (1979г. – н.в.)

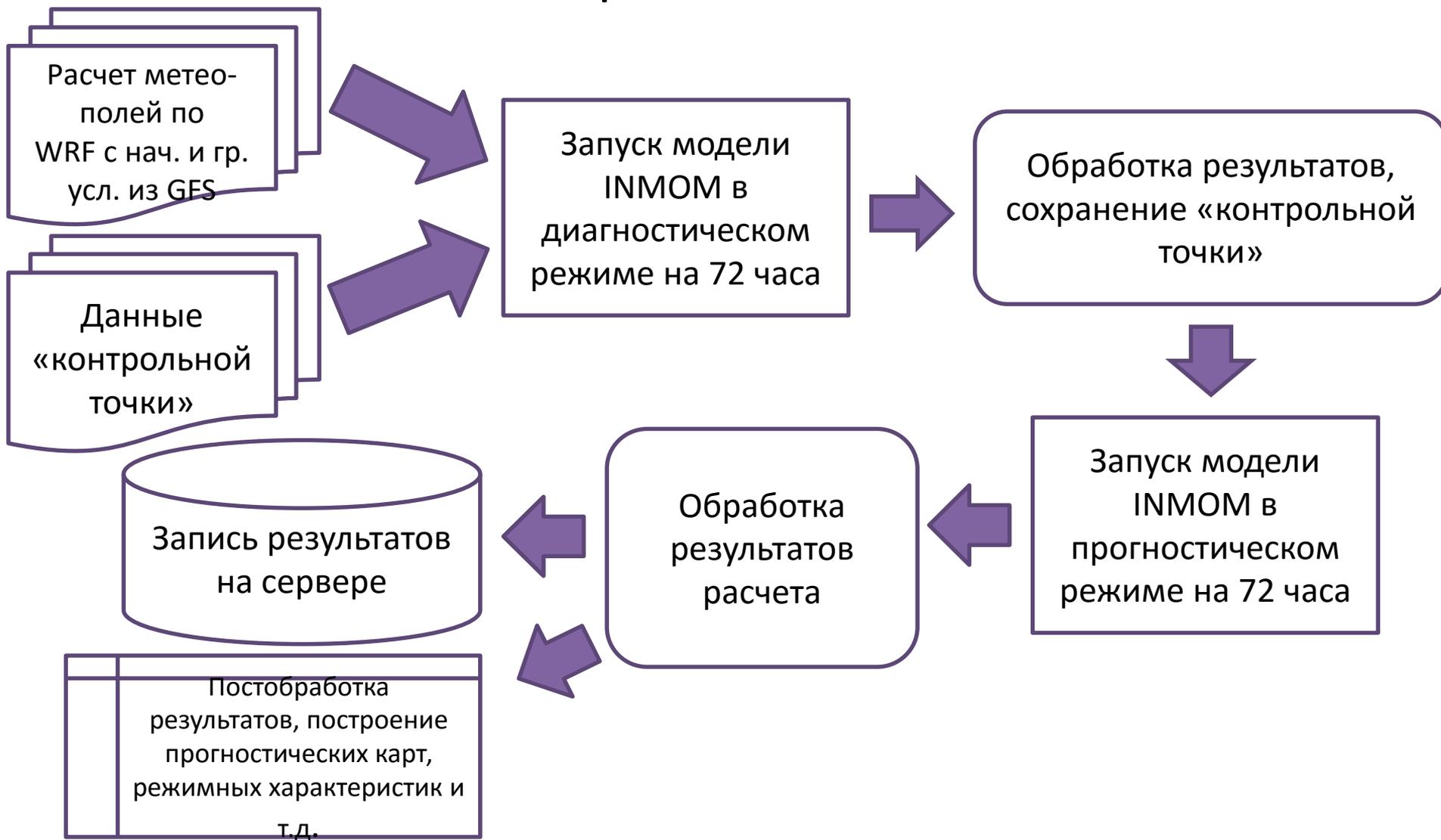
GFS/FNL – глобальный массив данных анализа с разрешением в  $1.0 \times 1.0^\circ$  градуса и дискретностью по времени в 6 часов (1997 – н.в.)

WRF (Weather Research and Forecast model) – региональная модель атмосферы

INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) – модель циркуляции морей и океанов

PABM - Российская ветро-волновая модель

# Система расчета циркуляции Западно-Арктических по модели INMOM в оперативном и ретроспективном режимах



# Модель WRF (Weather Research and Forecasting model) как блок расчета атмосферных параметров

## *Сеточная область модели WRF*

**3D поля NCEP  
(1,0°x1,0°) с 6-ти часовой  
дискретностью**



**Подготовка начальных и граничных условий  
для расчета WRF**



**Расчёт полей по модели WRF**



**Выборка необходимых метеополей для расчета  
моделей волнения и морской циркуляции**

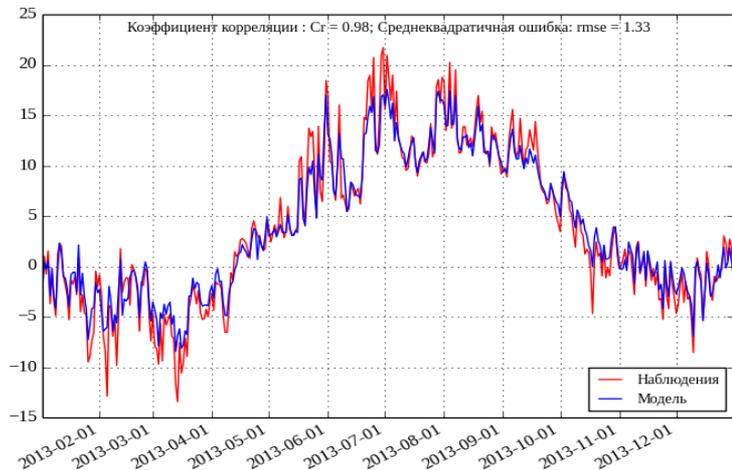
- Горизонтальное разрешение – 25 км
- Временная дискретность – 3 часа
- 27 вертикальных уровней, верхняя граница на уровне 50 гПа
- Интегрирование по времени методом Рунге-Кутты 3-го порядка

- Накопление данных для:
  1. Компонент скорости ветра
  2. Температуры воздуха и поверхности
  3. Поток тепла и влаги

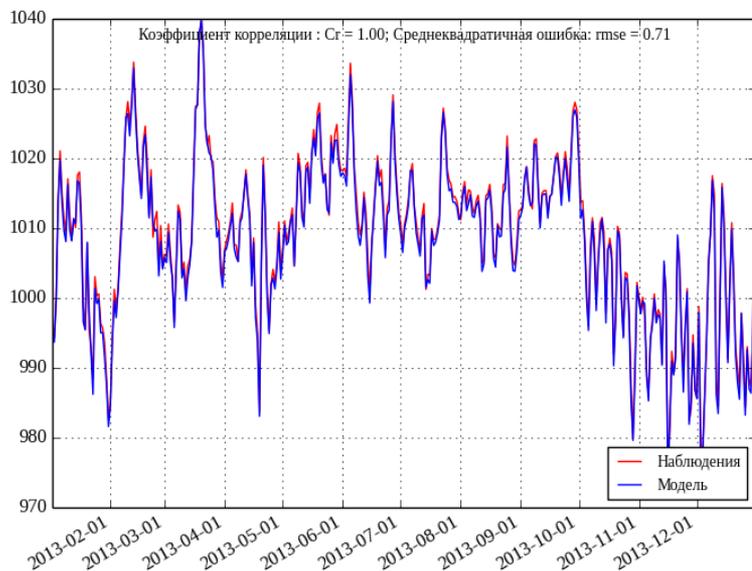
Расчетная область для модели WRF с пространственным разрешением 25 км над акваторией Баренцева, Печорского и Карского морей и расположение метеостанций для верификации модели.



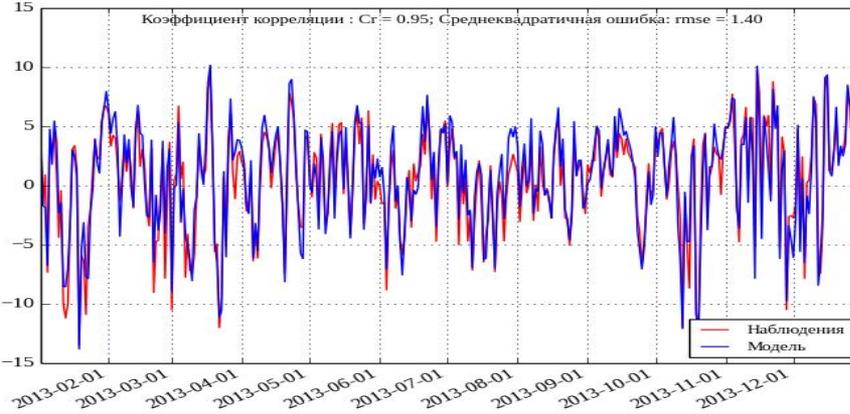
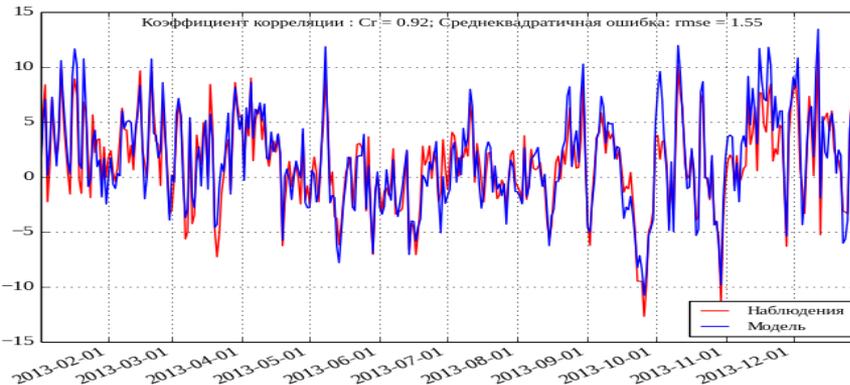
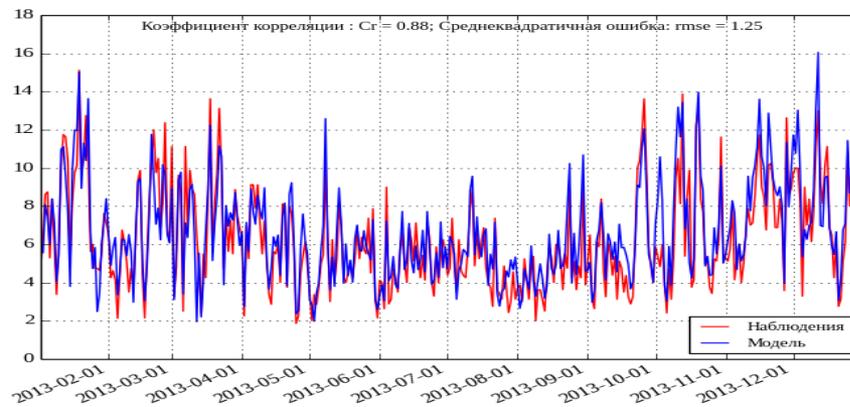
# Верификация модели WRF по данным станции №15 (Вайда Губа)



Air Temperature [C] at 10 m . Observation (red) vs modelled (blue).

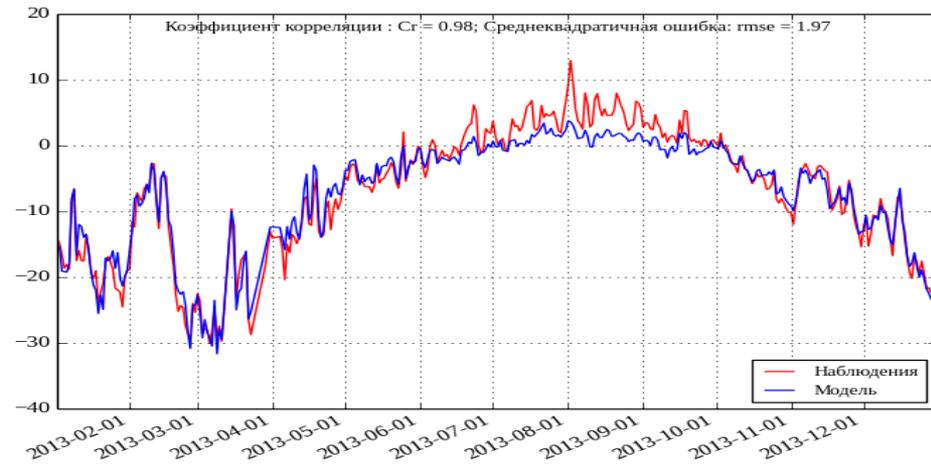


SLP [HPa] . Observation (red) vs modelled (blue).

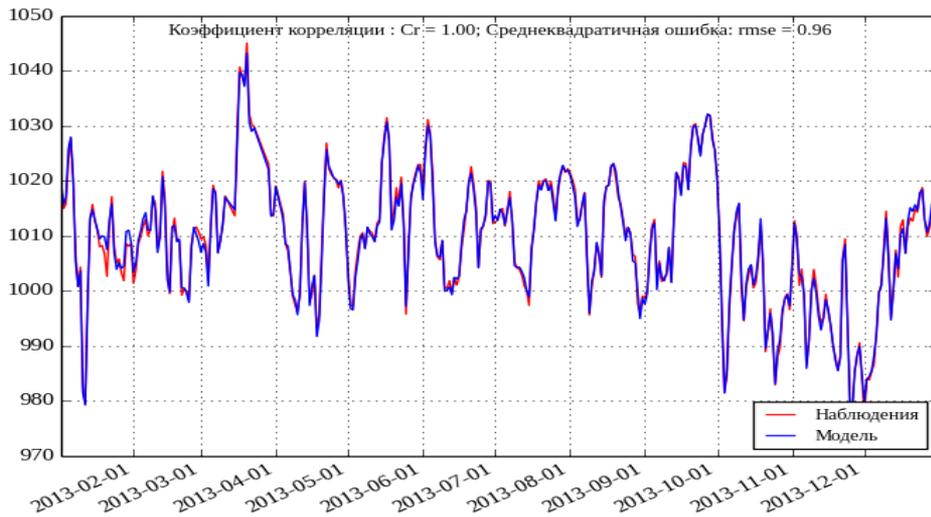
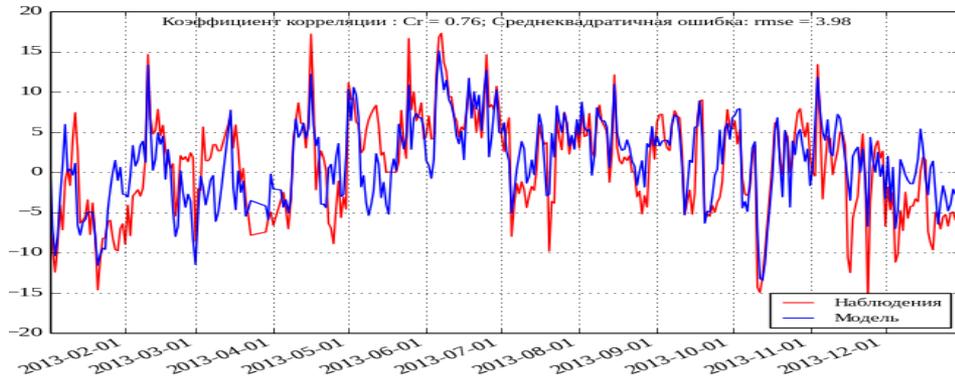
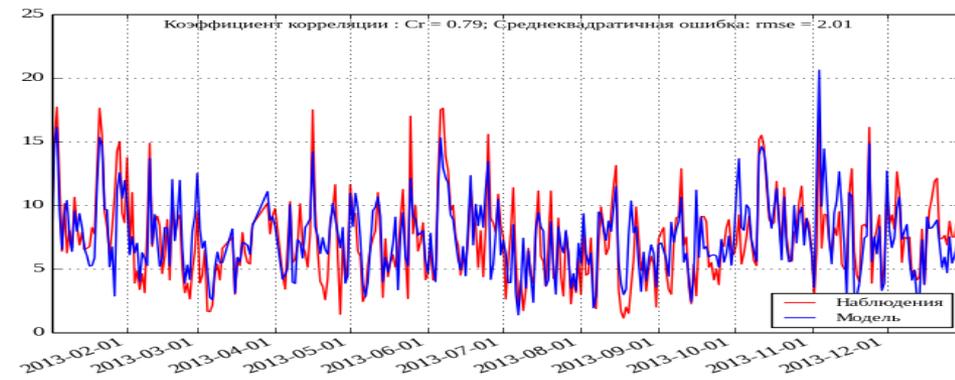


Wind Velocity [m/s] at 10 m . Observation (red) vs modelled (blue).

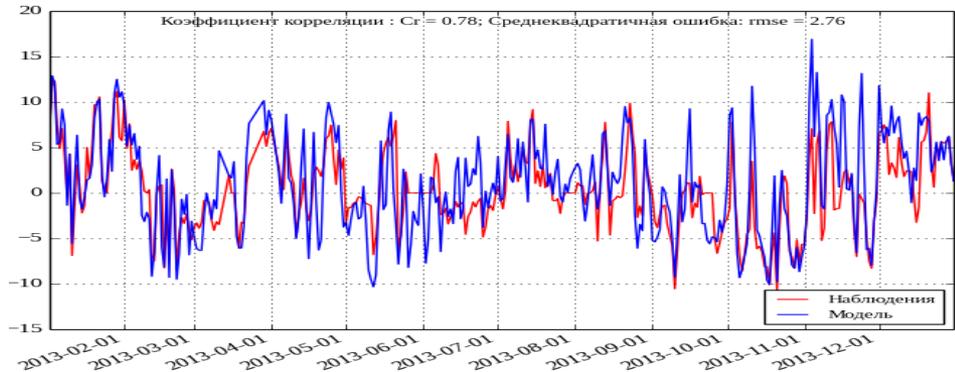
# Верификация модели WRF по данным станции №12 (мыс Желания)



Air Temperature [C] at 10 m . Observation (red) vs modelled (blue).

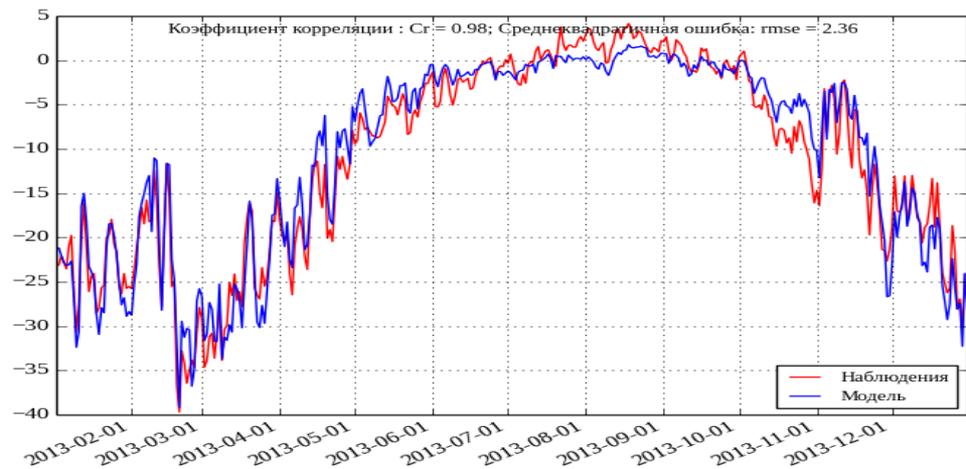


SLP [HPa] . Observation (red) vs modelled (blue).

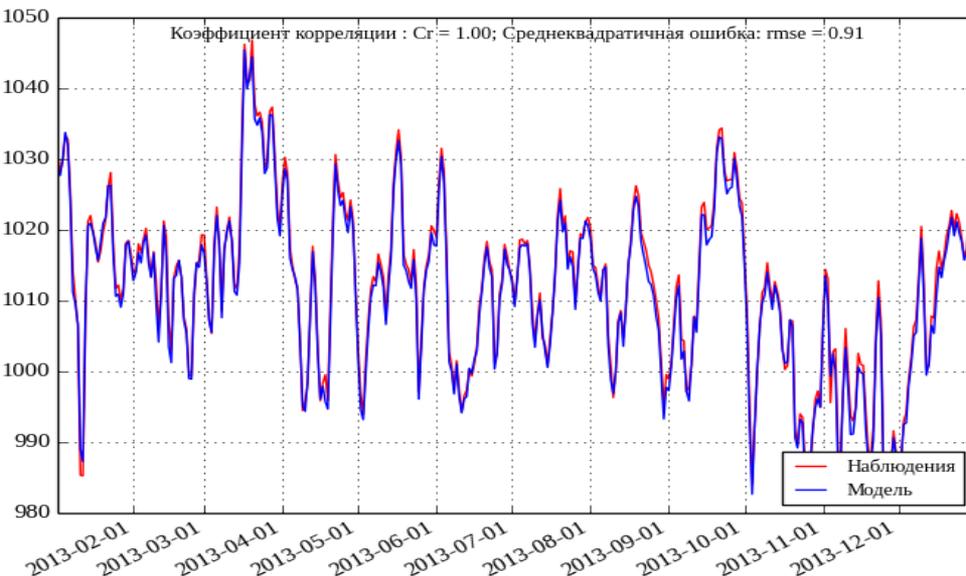
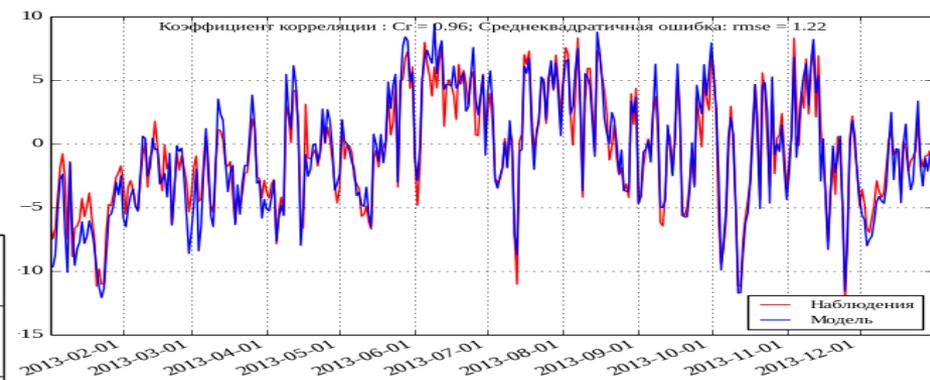
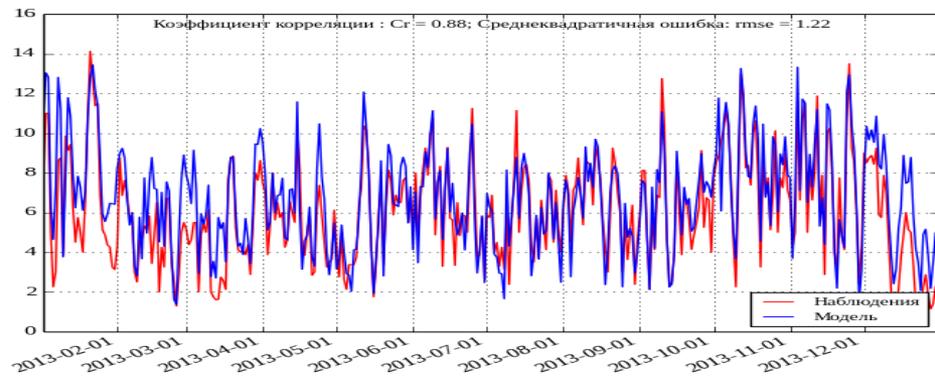


Wind Velocity [m/s] at 10 m . Observation (red) vs modelled (blue).

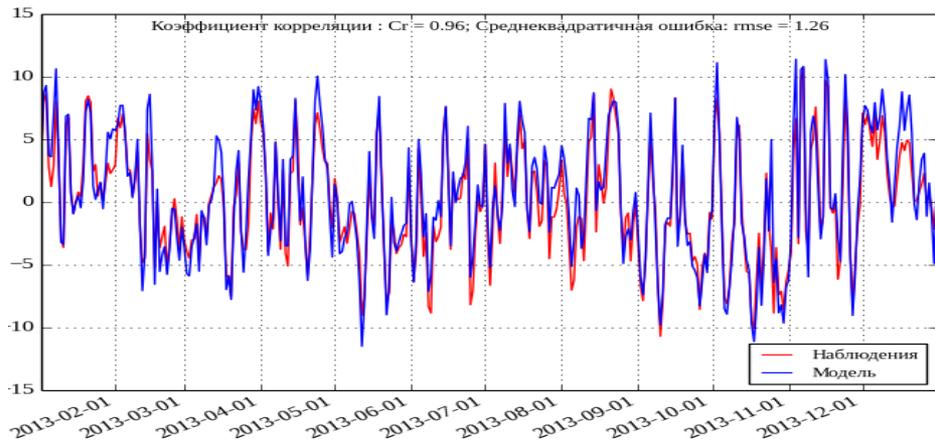
# Верификация модели WRF по данным станции №11 (о. Визе)



Air Temperature [C] at 10 m . Observation (red) vs modelled (blue).



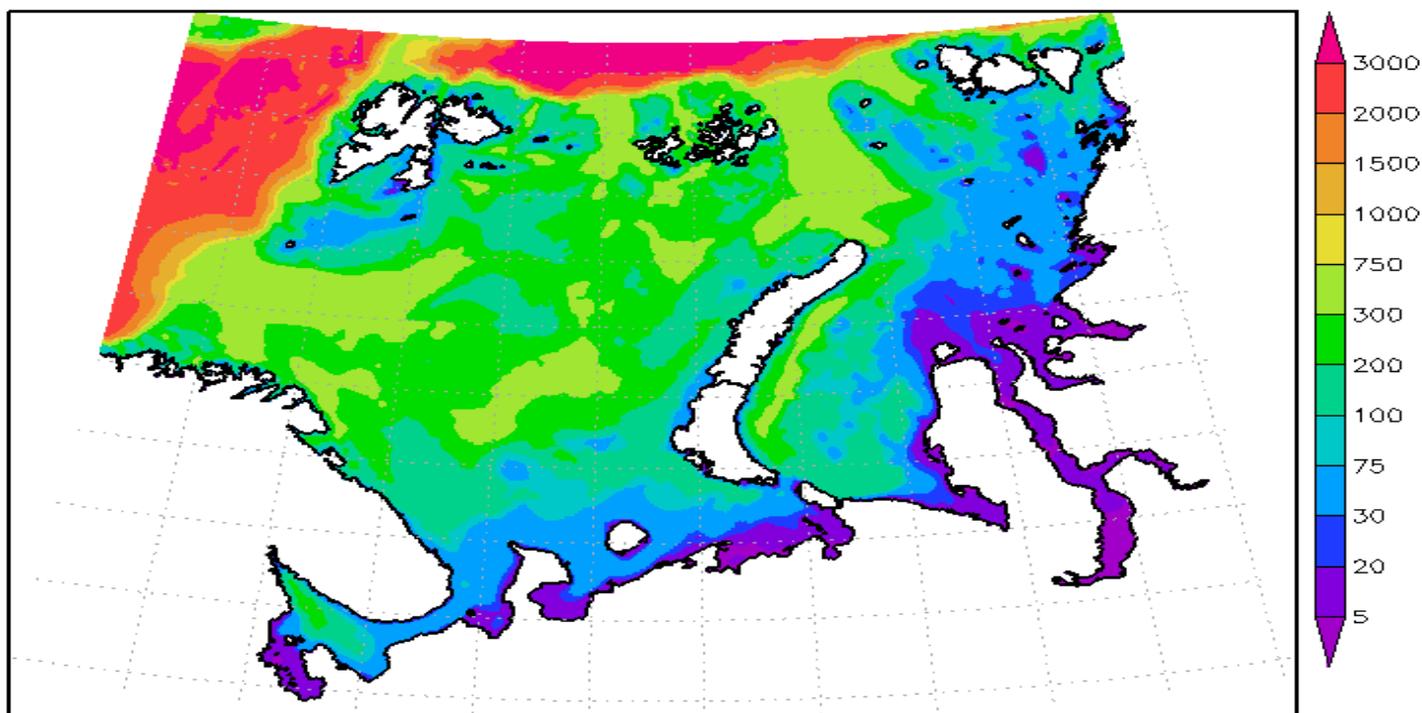
SLP [hPa] . Observation (red) vs modelled (blue).



Wind Velocity [m/s] at 10 m . Observation (red) vs modelled (blue).

Конфигурация INMOM для расчета циркуляции Баренцева, Белого, Печорского и Карского морей с пространственным разрешением 2.5 км

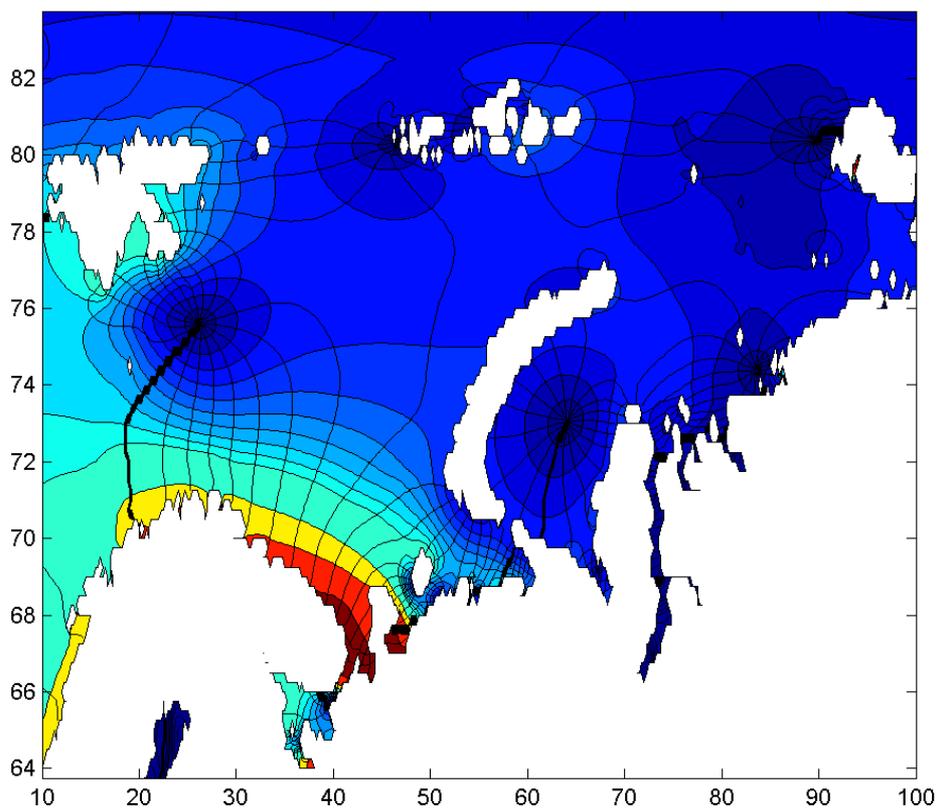
Bottom Topography.



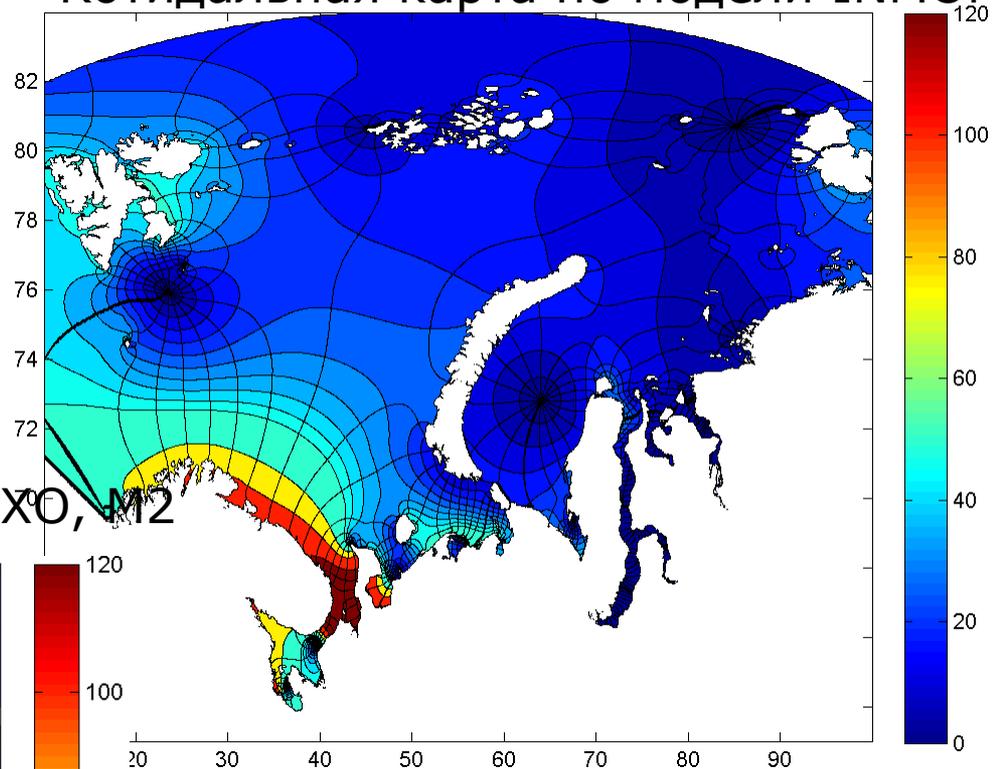
Numerical experiment with this INMOM version was carried out for 20 years from 1994 to 2013.

*Верификация модели INMOM.  
Блок расчета приливов*

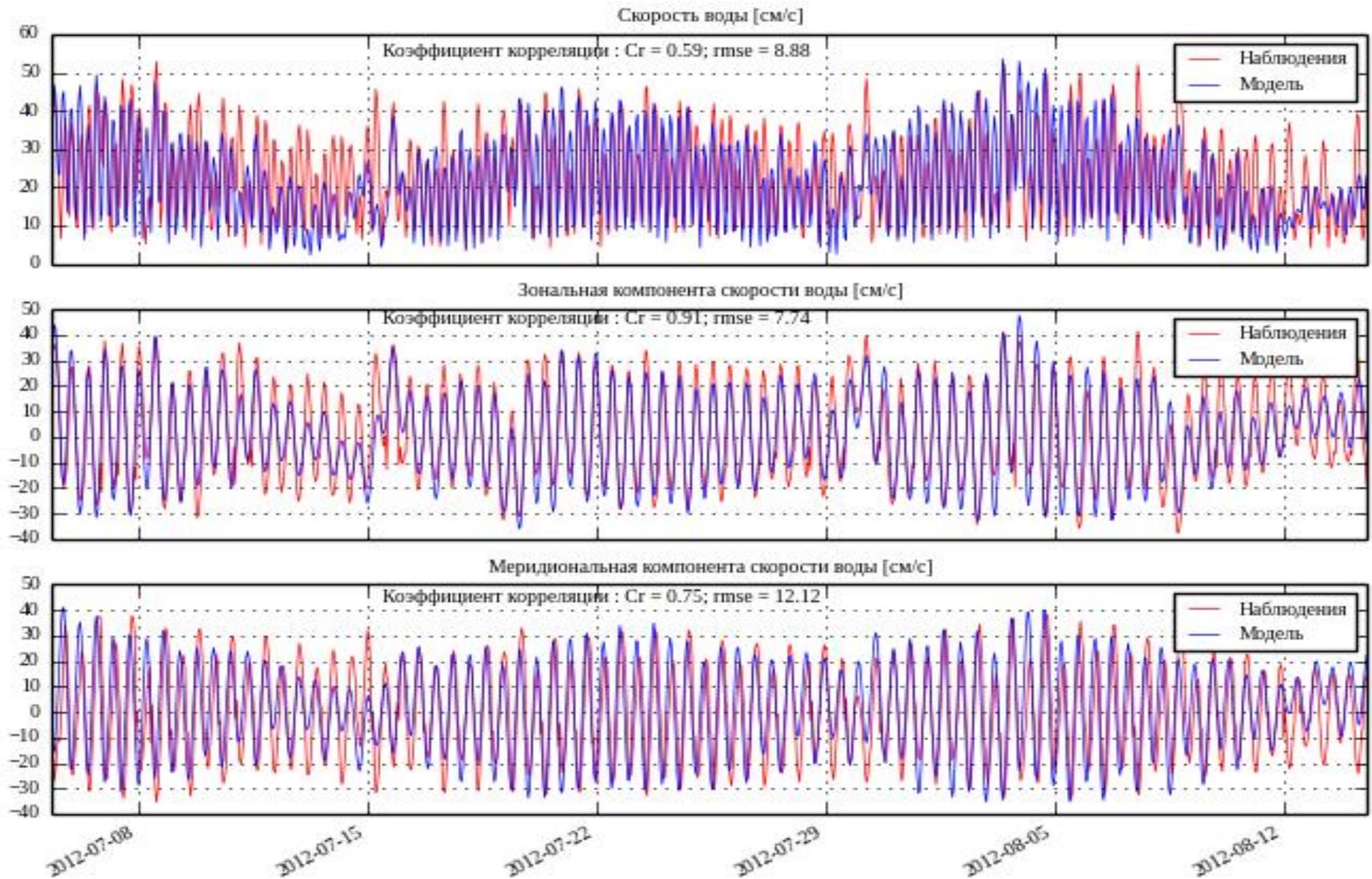
Котидальная карта по модели TRXO, M2



Котидальная карта по модели INMOM



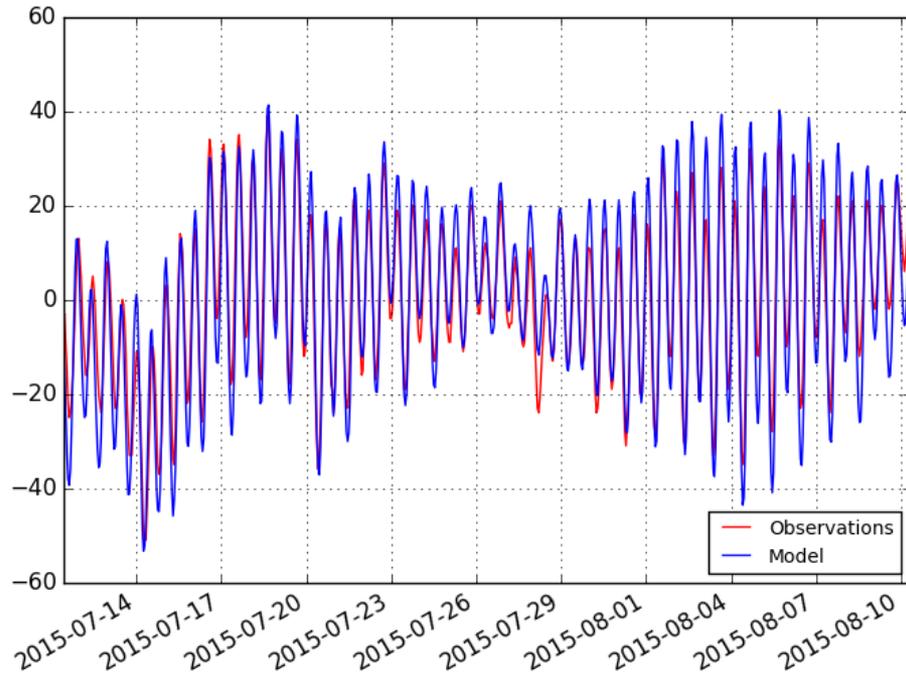
# Верификация модели INMOM (Печорское море)



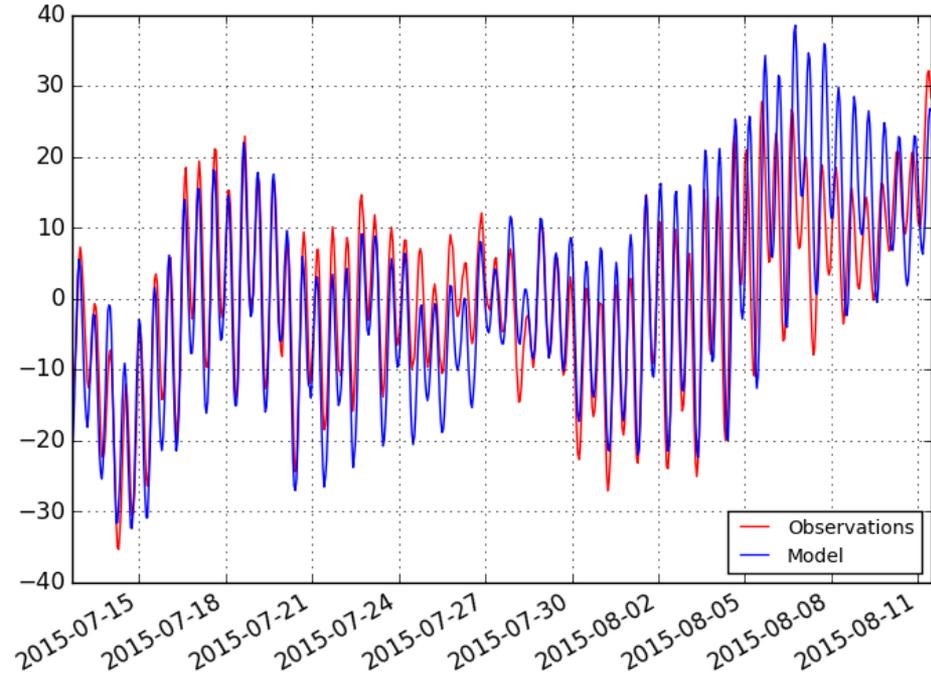
The model (blue) and observed (red) absolute velocities, zonal and meridional components at 10 m depth. This plot shows the period corresponding approximately to July-August 2012 [cm/s].

# Верификация модели *INMOM* (Карское море)

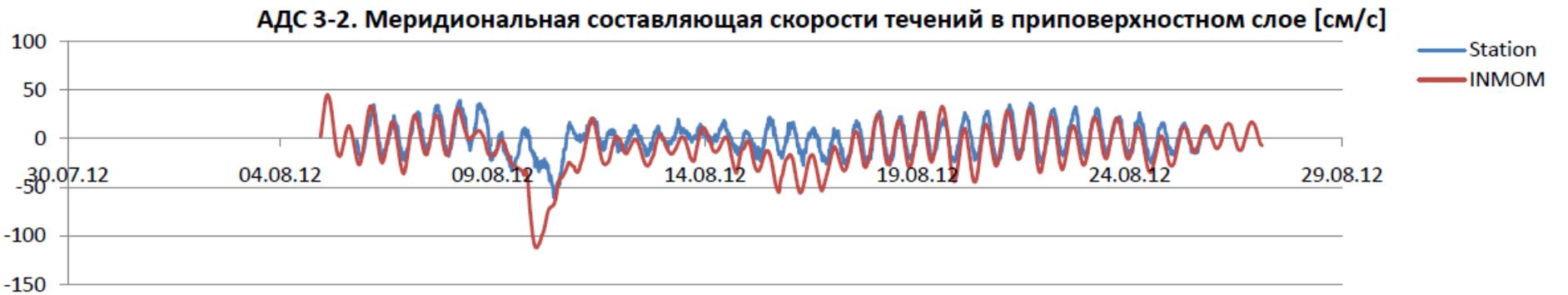
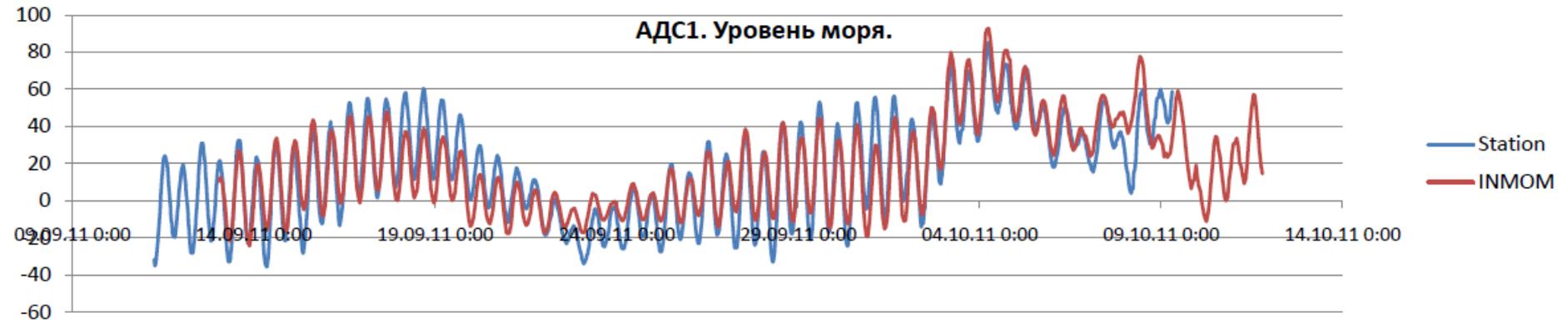
## Уровень моря [см] на глубине 25 м



## Уровень моря [см] на глубине 120 м

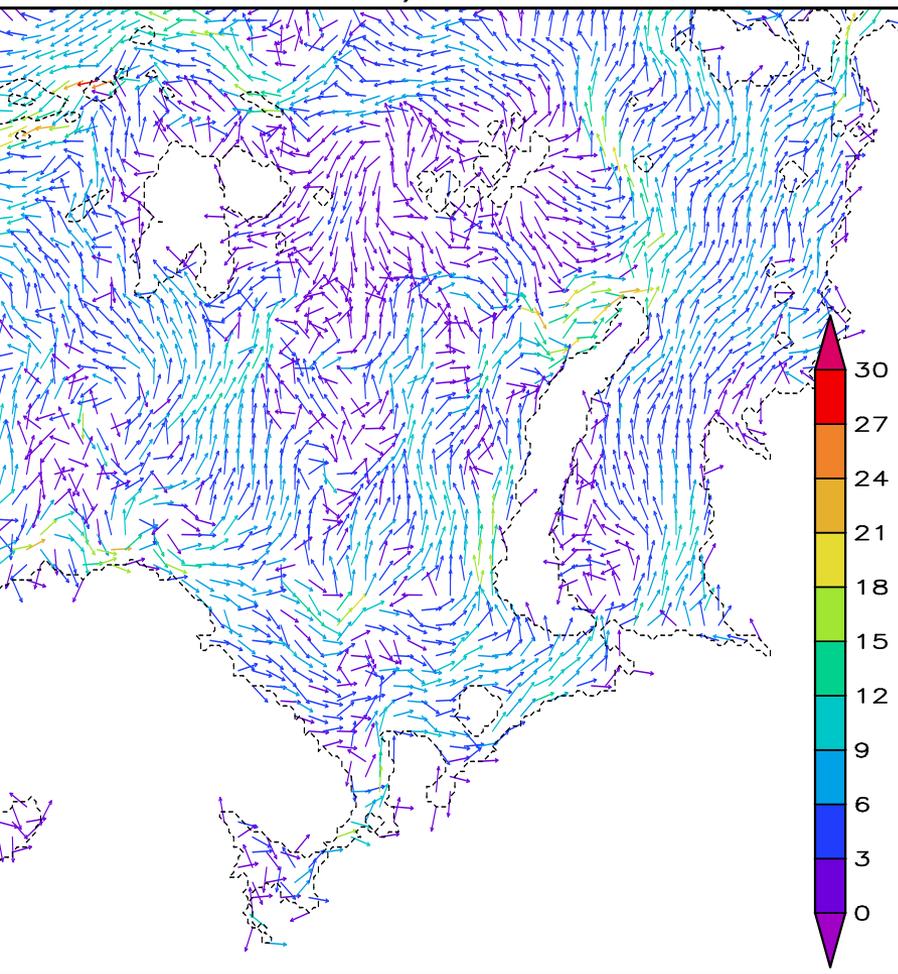


# Верификация модели INMOM (Карское море)



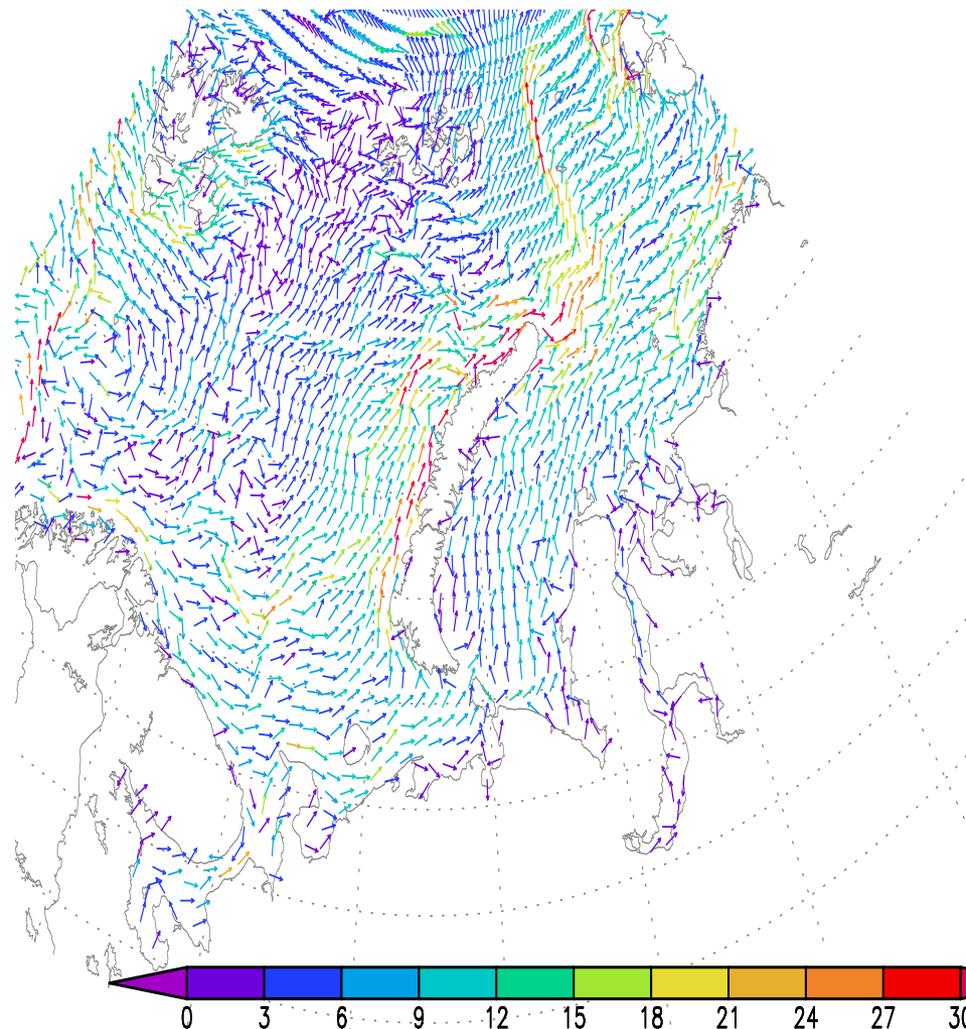
# Среднемесячные поверхностные скорости течения [см/с], Декабрь 2000

*The TOPAZ4 Arctic Ocean Reanalysis  
MyOcean.eu*



**Model:** Hycom; **Spatial resolution:** 12.5 km  
**Geographical coverage:**  
**Longitude:** -180:180 **Latitude:** 65:90

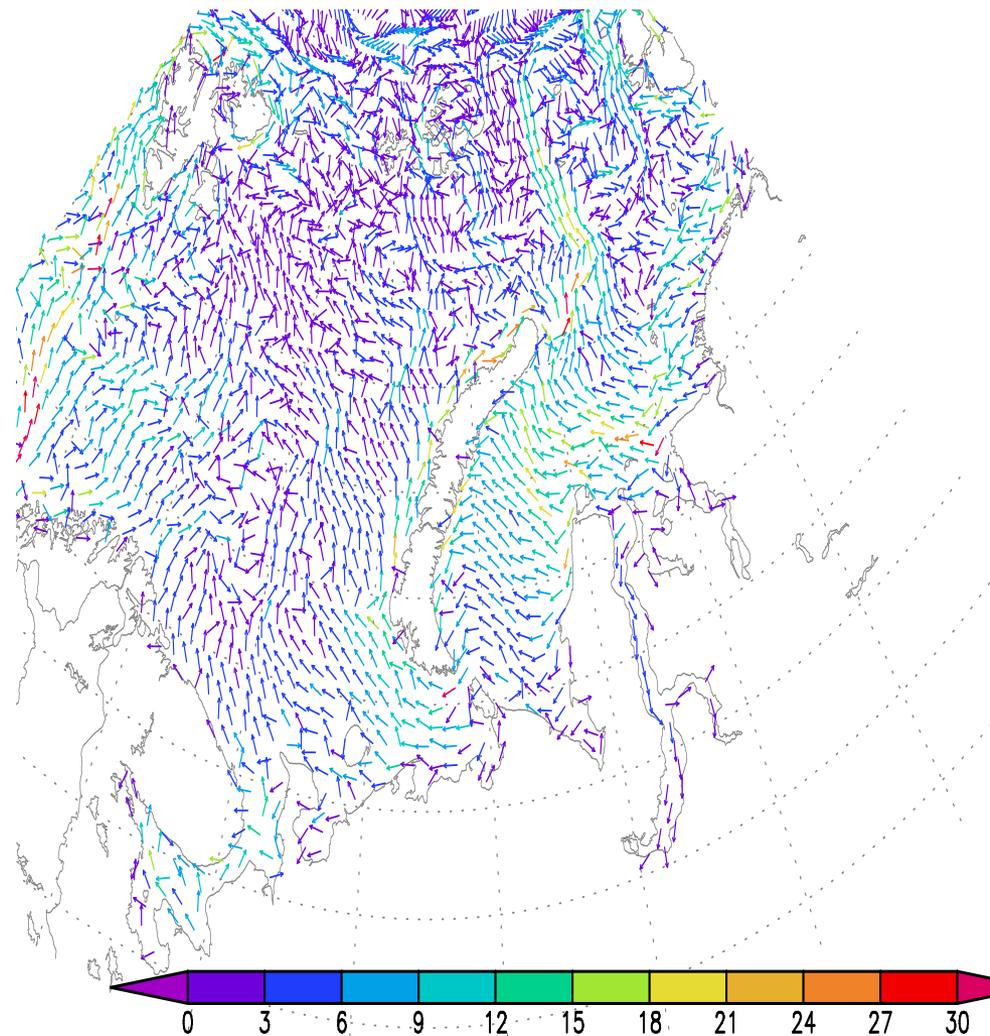
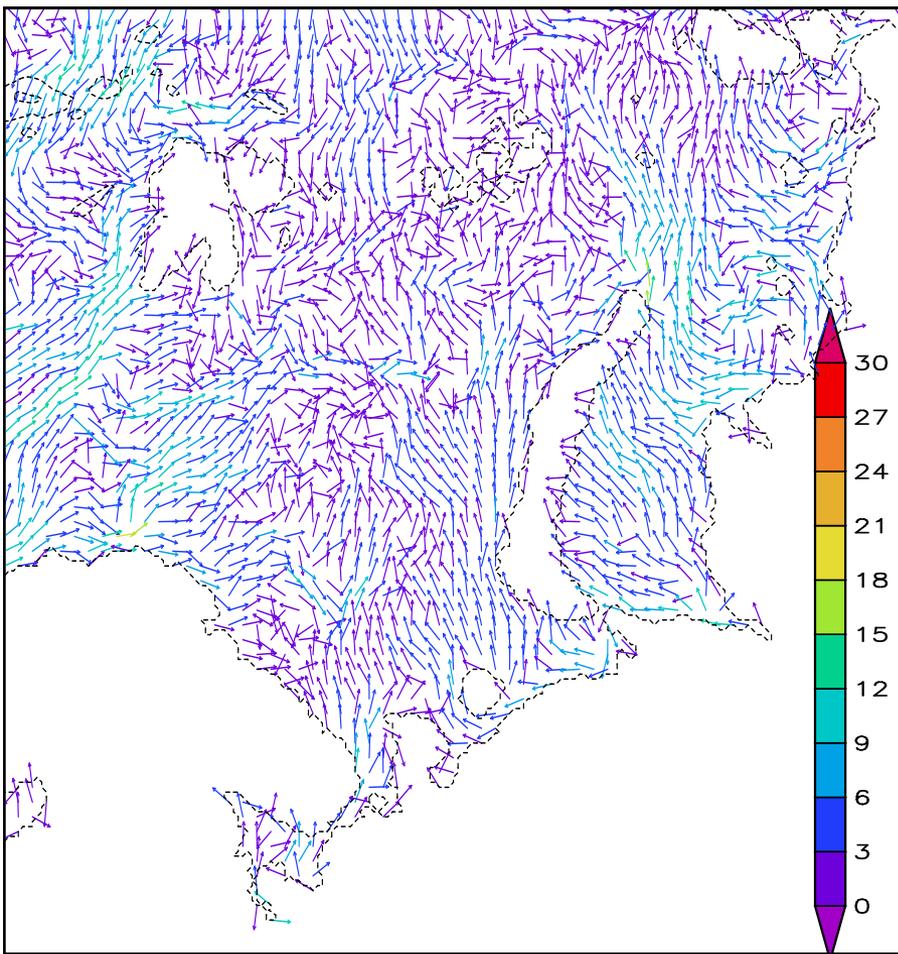
INMOM



# Среднемесячные поверхностные скорости течения [см/с], Август 1998

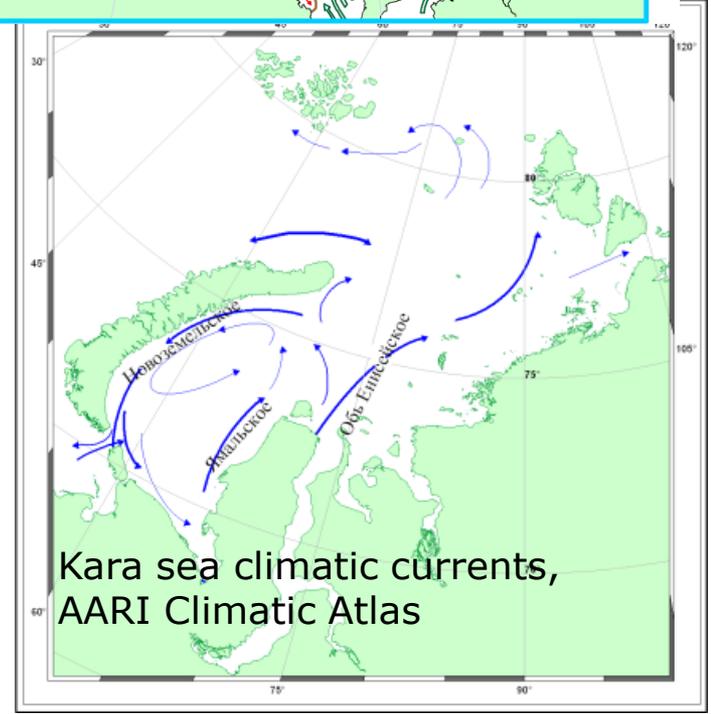
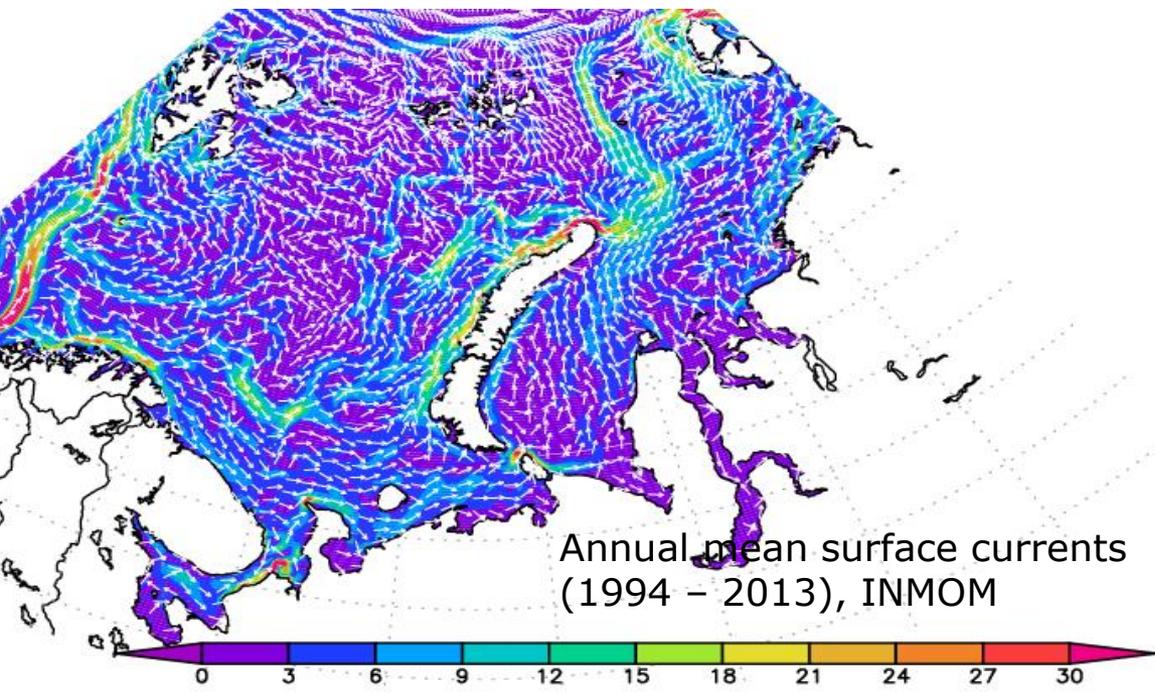
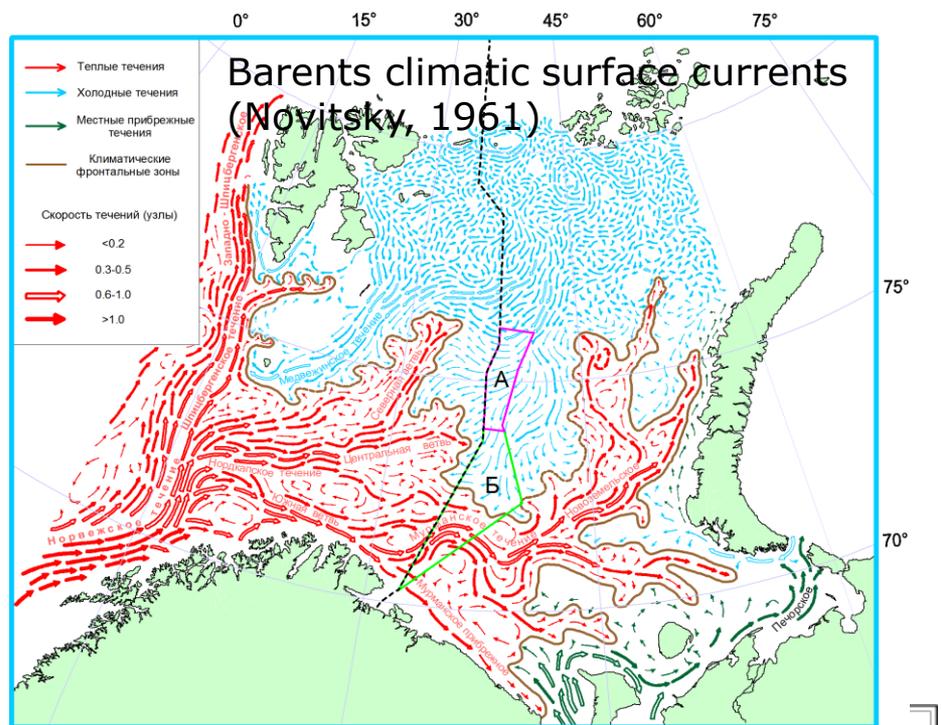
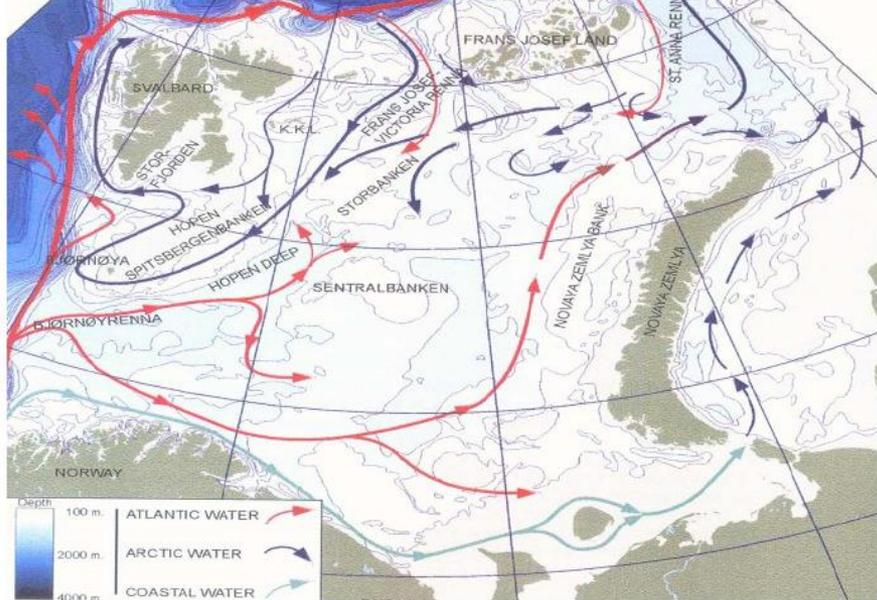
*The TOPAZ4 Arctic Ocean Reanalysis*  
*MyOcean.eu*

INMOM



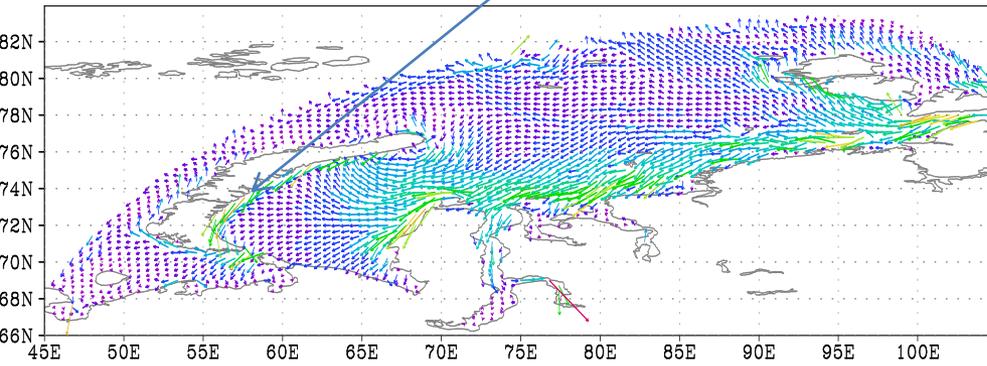
**Model:** Hycom; **Spatial resolution:** 12.5 km  
**Geographical coverage:**  
**Longitude:** -180:180 **Latitude:** 65:90

# The main current systems in the Barents Sea (Keghouche et al. 2007)

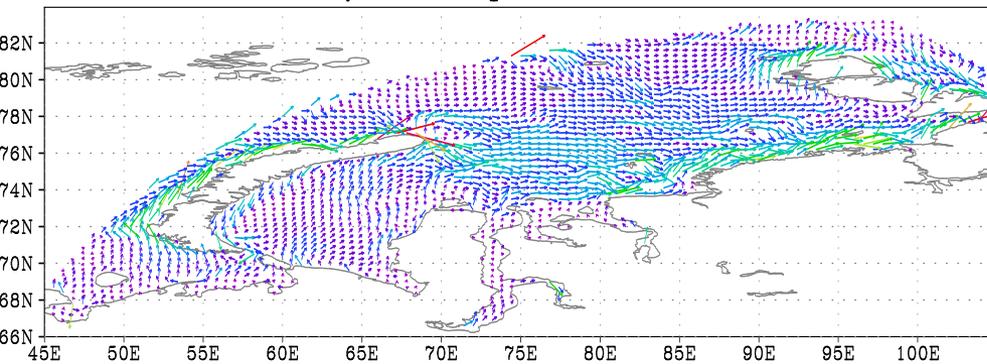


# Novaya Zemlya current

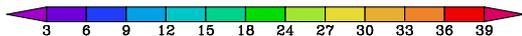
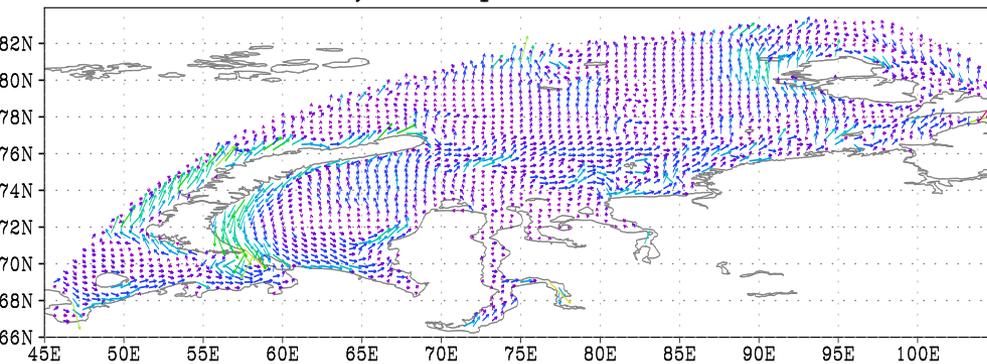
а) Август, 2011



б) Сентябрь, 2011

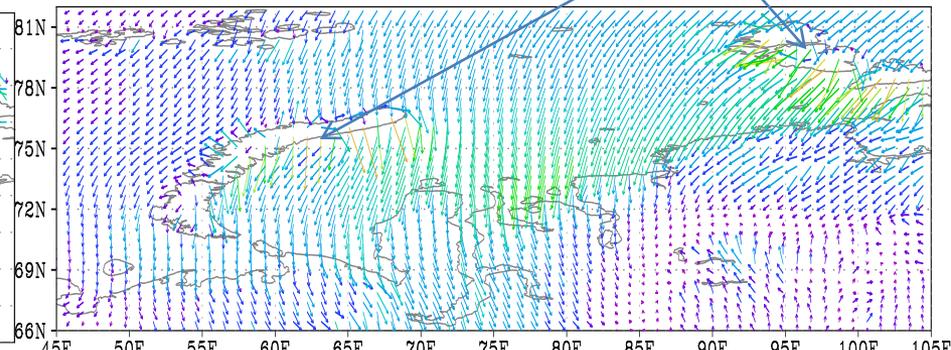


в) Октябрь, 2011

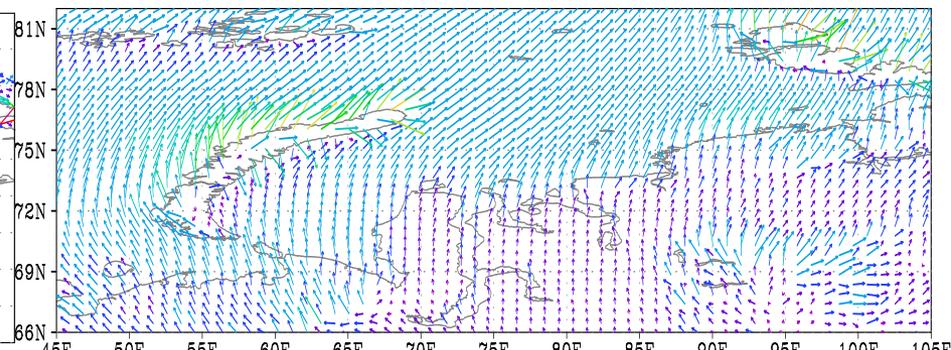


# Katabatic wind

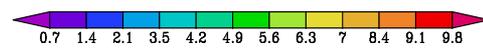
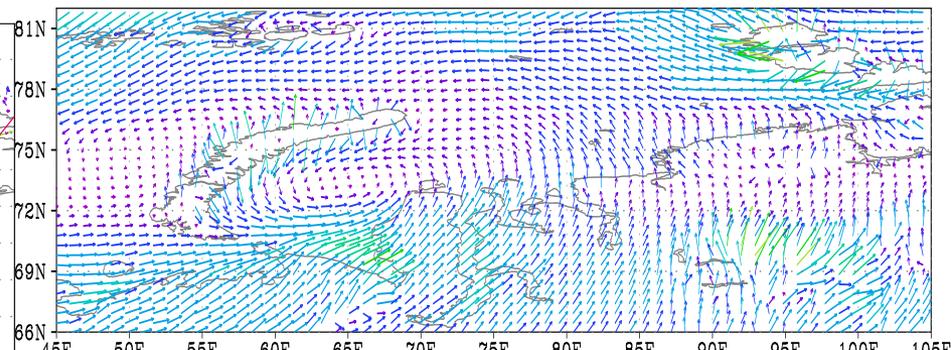
а) Август, 2011



б) Сентябрь, 2011

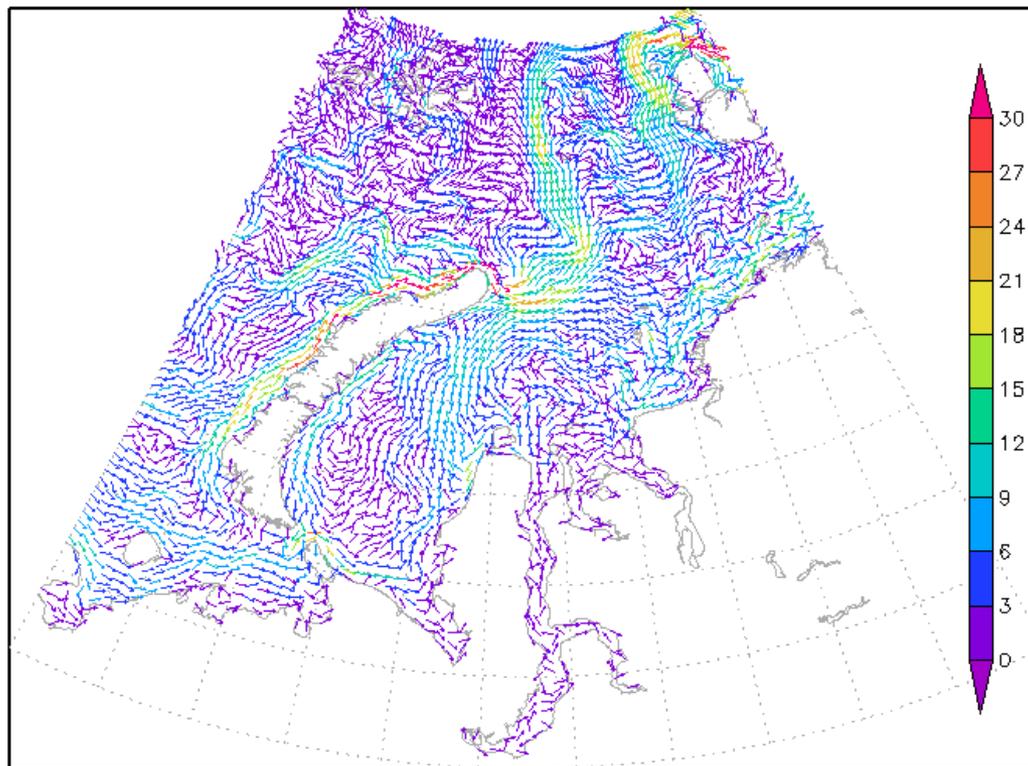


в) Октябрь, 2011

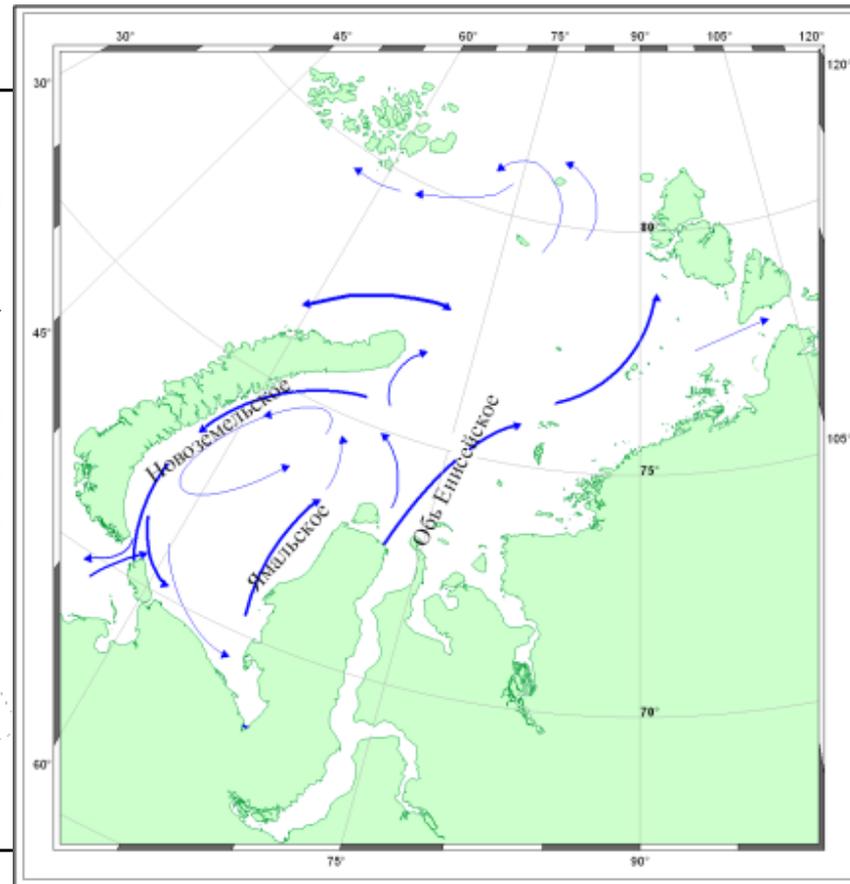


# Циркуляция Карского моря

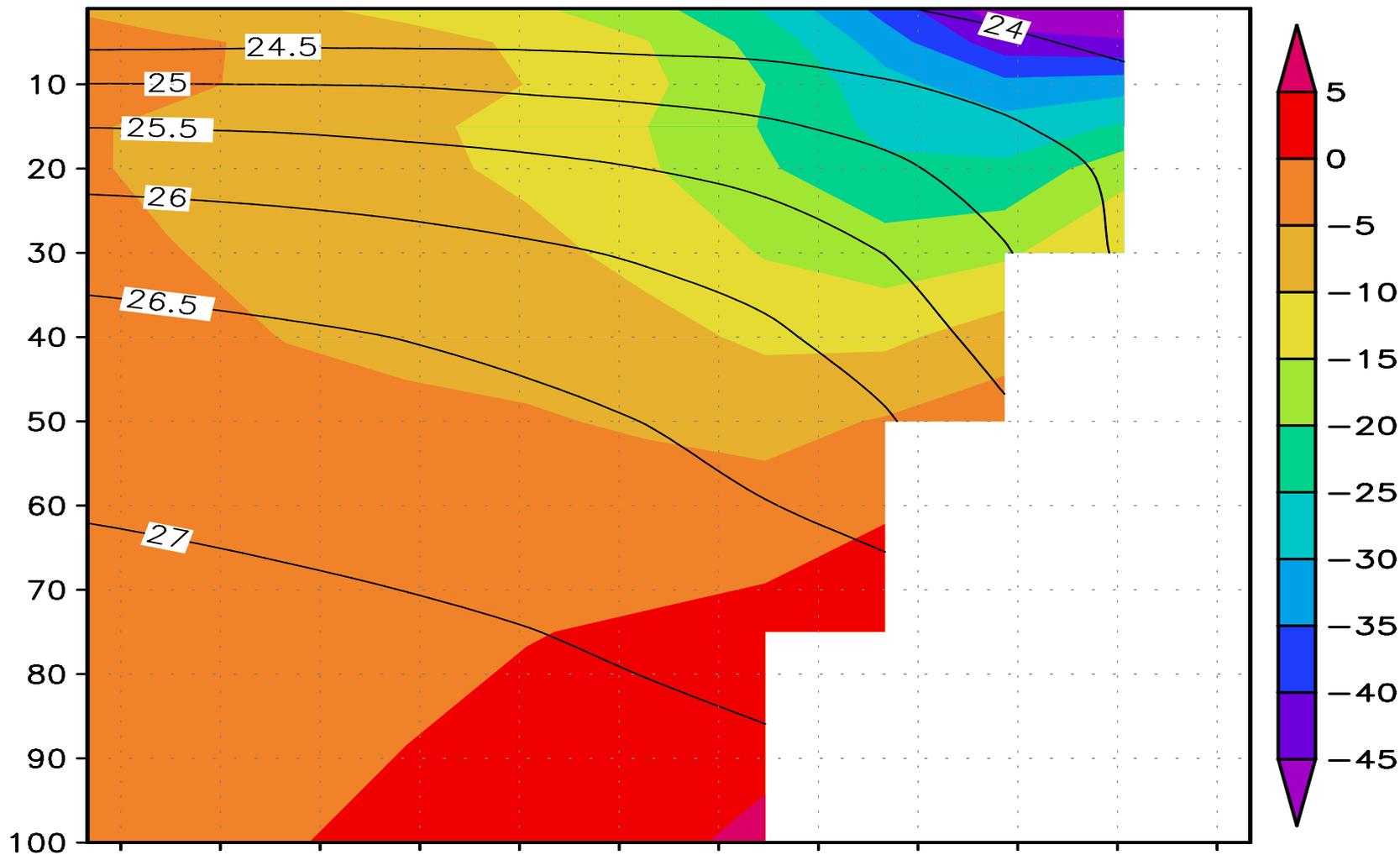
Среднемесячные течения на глубине 10 м  
INMOM, сентябрь 1993-2014гг.



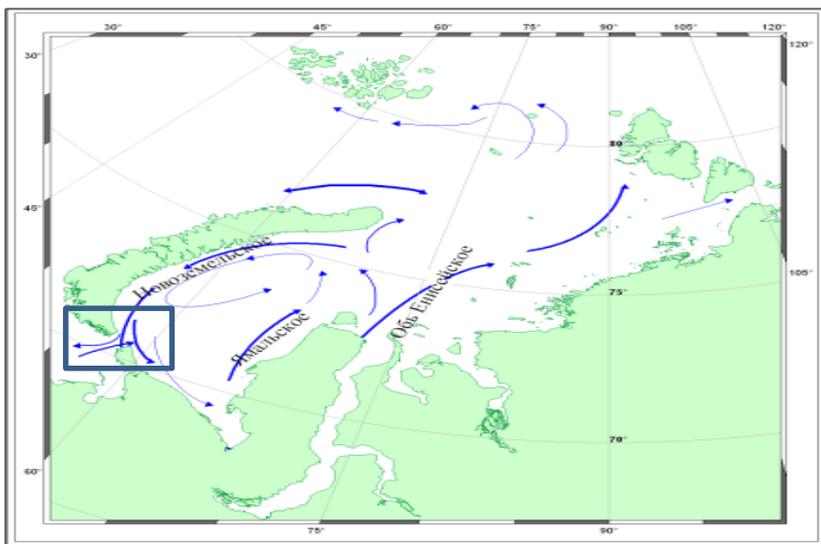
Структура течений Карского моря  
(Атлас ААНИИ)



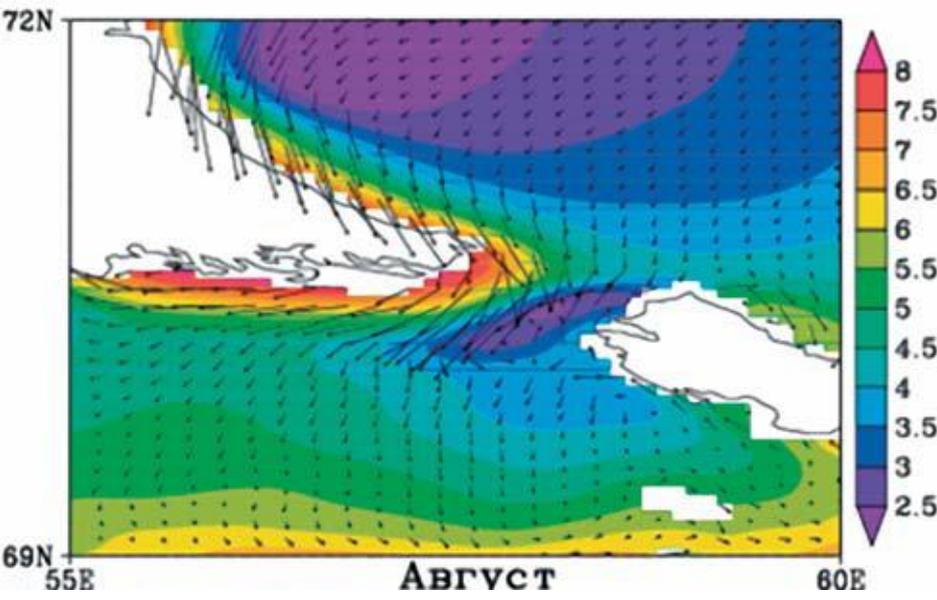
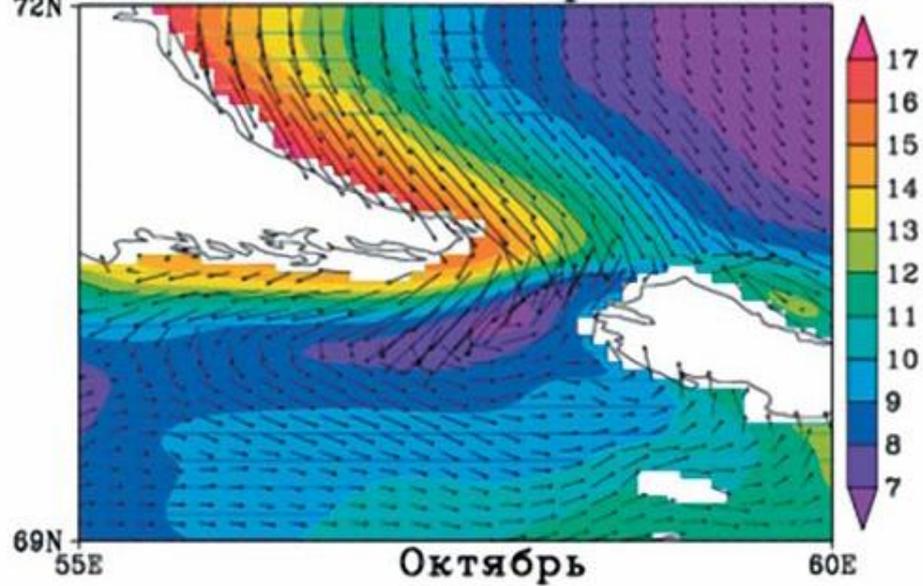
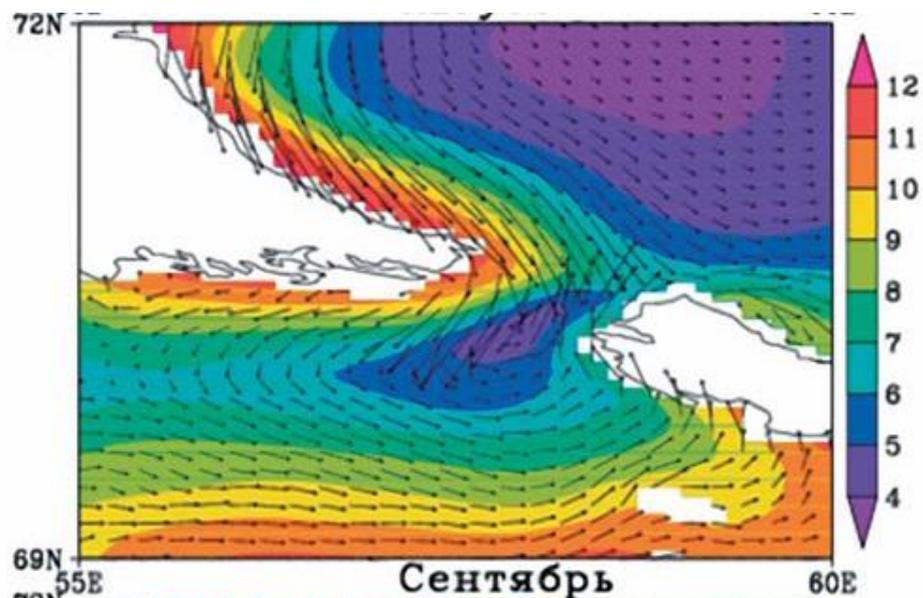
**Разрез поперек Новоземельского течения в Карском море. Цветом показана скорость течения. Знак «минус» означает направление, когда Новая Земля справа по ходу течения. Изолиниями показана плотность.**



Kara sea climatic currents,  
AARI Climatic Atlas



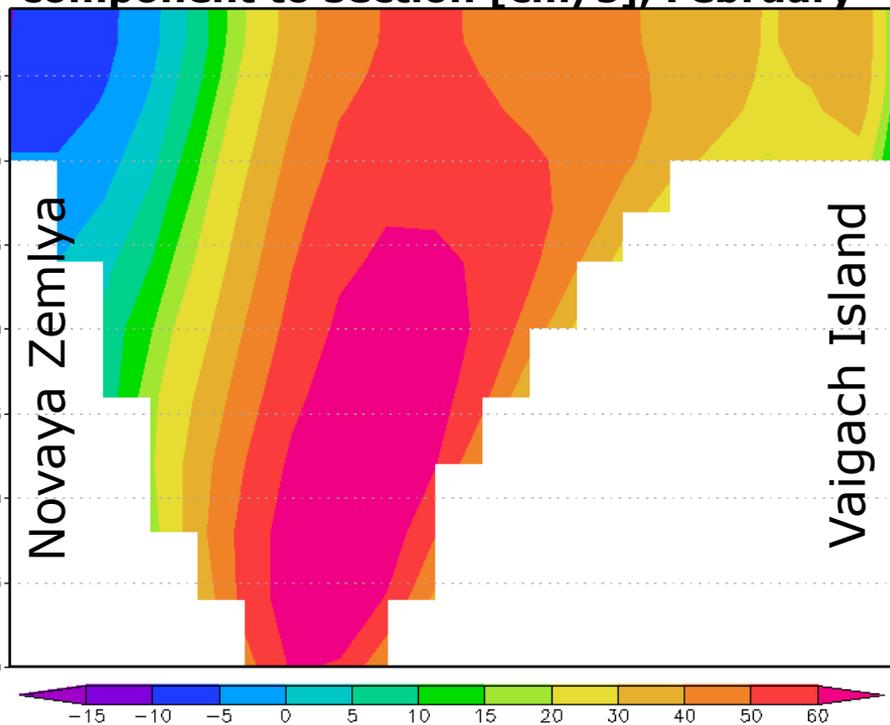
Mean fields for 2003—2012 of surface velocity [arrows, cm/s] and sea surface height [shaded, cm] for sea ice free periods (August, September, October).



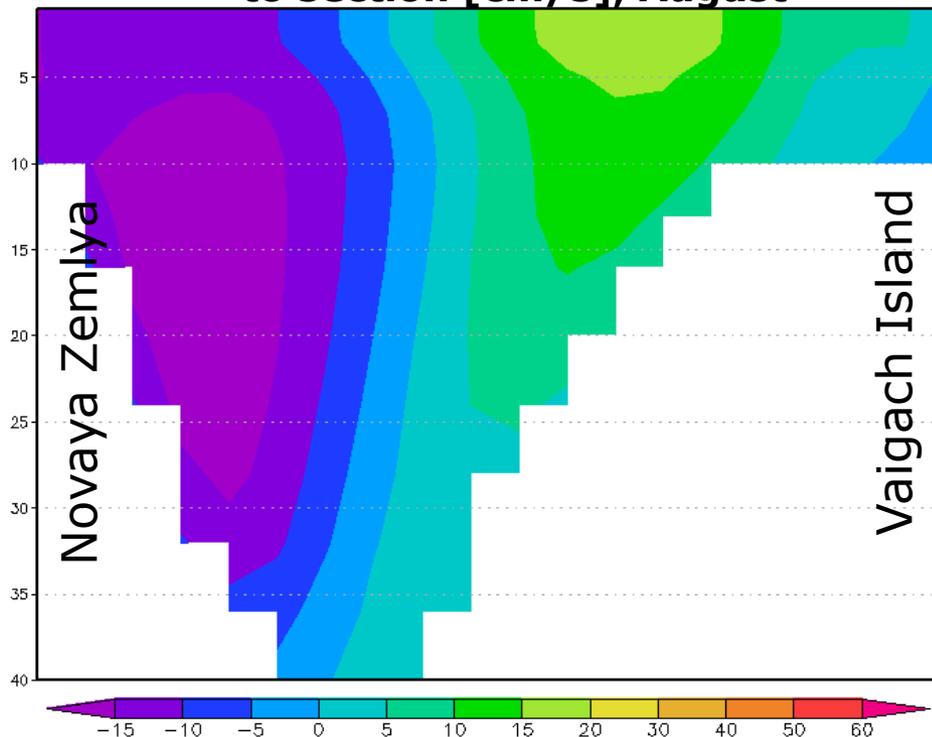
# Vertical section through the Kara Straite (Gate)



Monthly mean normal velocity component to section [cm/s], February



Monthly mean normal velocity component to section [cm/s], August



"-" flow into Pechora and Barents seas; "+" flow into Kara sea

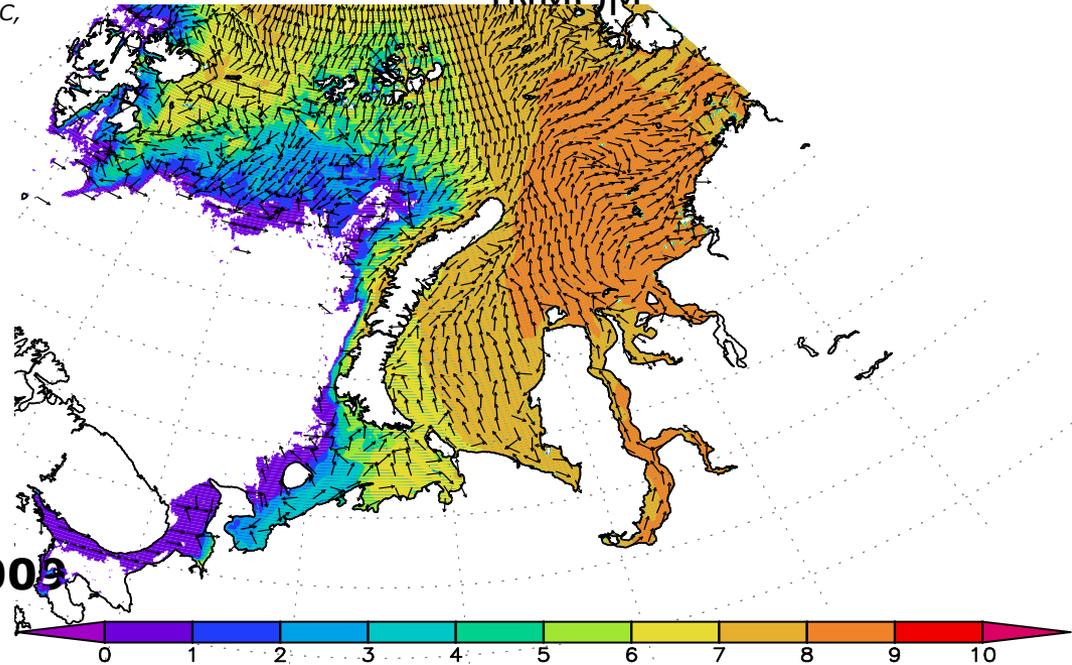
# Monthly mean ice drift, January 2001

Fowler, C., 2003, updated 2008. Polar Pathfinder Daily 25 km EASE-Grid Sea Ice Motion Vectors, [Time period used, e.g. January 1992 - December 2001]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital Media, distributed in netCDF format by the Integrated Climate Data Center (ICDC, <http://icdc.zmaw.de>) University of Hamburg, Hamburg, Germany.

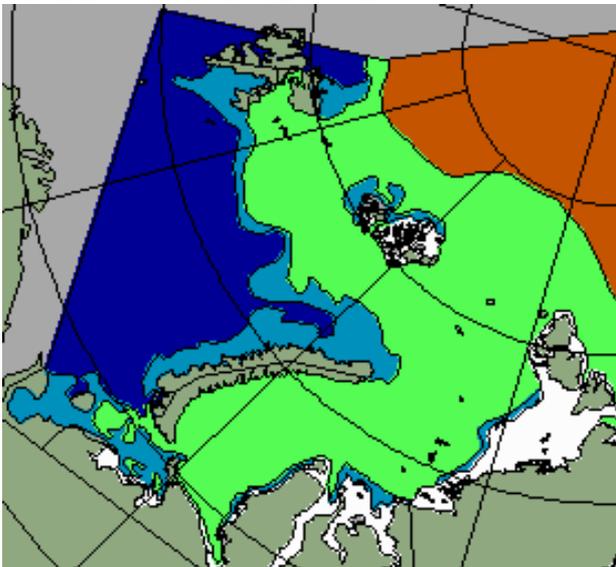


# Monthly mean ice drift (vector) and monthly mean ice concentration, January 2001

INMOM



# Marine Ice type, 15 December 2009 Obsrvetions from AARI

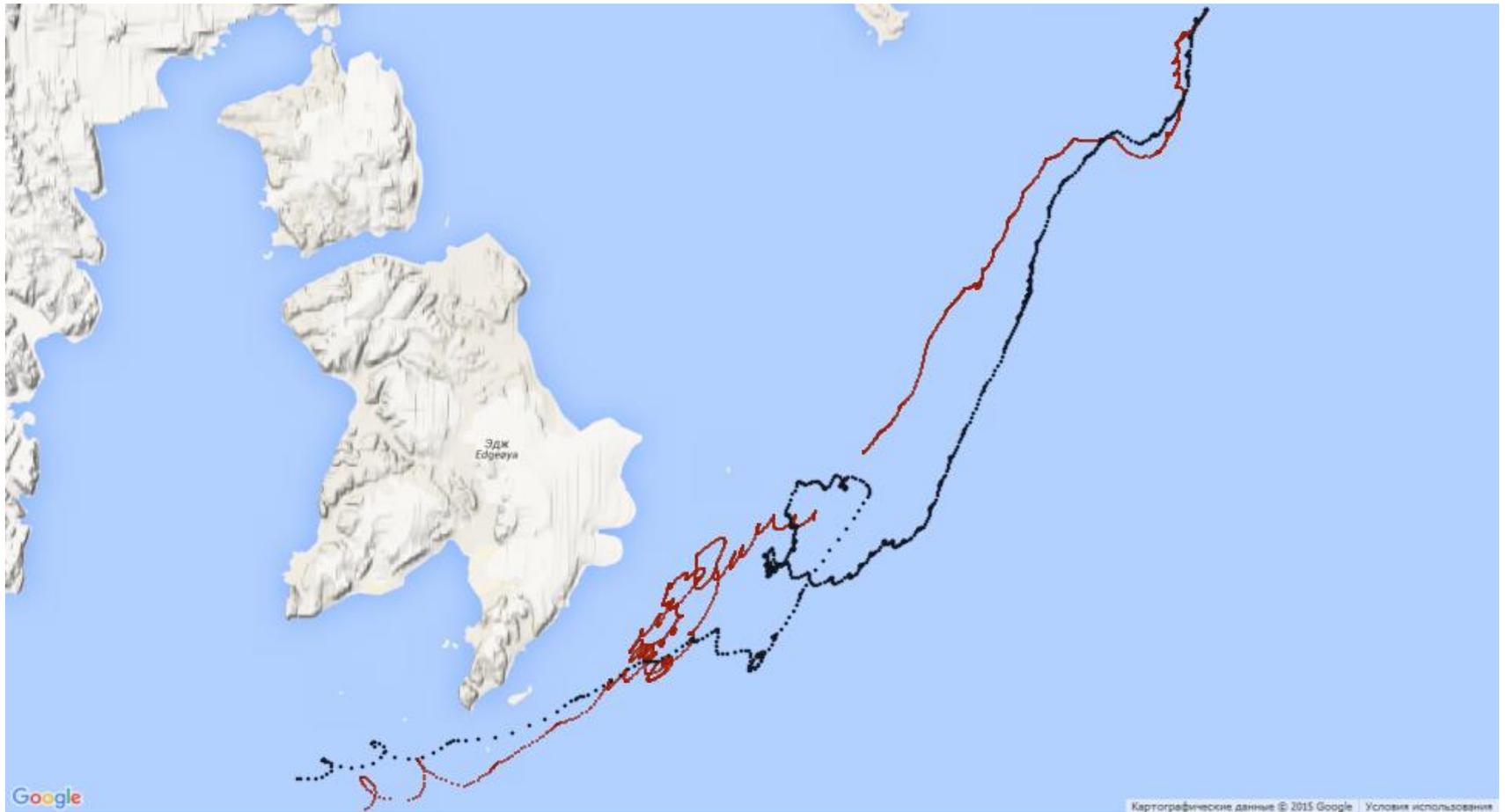


Ice Analysis from satellite imagery 27-31.01.2001  
Stage(s) of development (thickness)

	- Nilas and young ice (0-30 cm)		- Fast ice
	- First year ice (30-200 cm)		- No data
	- Old ice (survived at least one summer's melt)		- Ice free
	- Boundary analysed from Visual/Infrared/Radar Observations		

(c) Ice Center, Arctic and Antarctic Research Institute, St.Petersburg, Russia  
FAX: (7-812) 352-2688 E-mail: ydb@aari.nw.ru

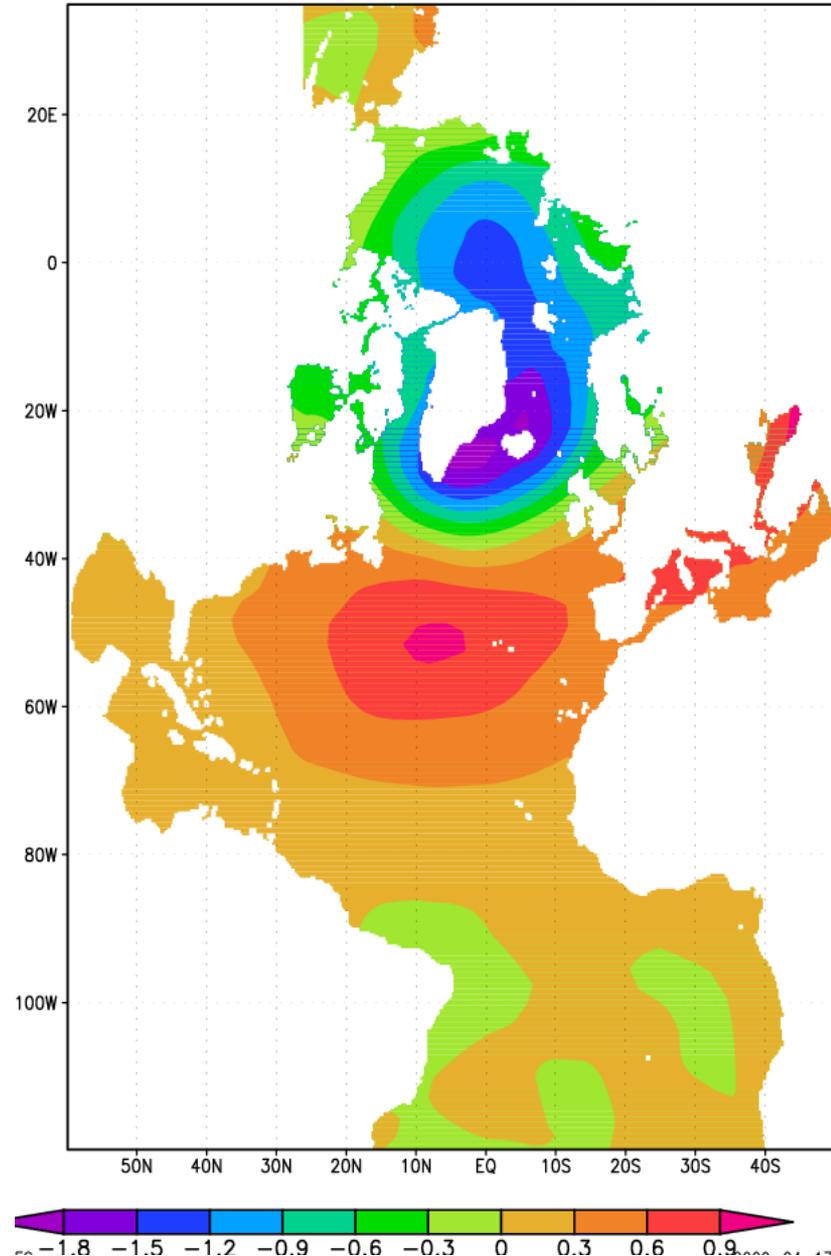
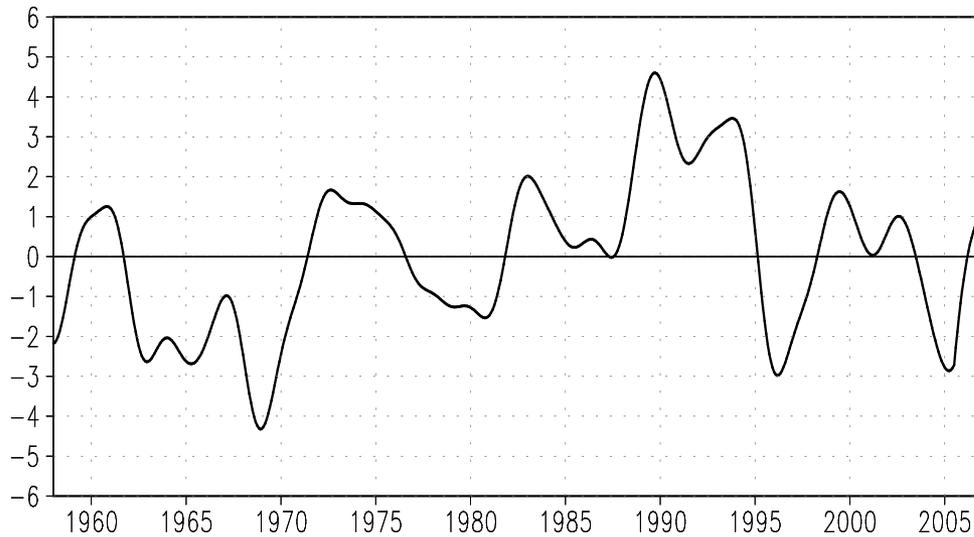
Сравнение рассчитанной и наблюдаемой траектории около Шпицбергена  
вмороженного в лед буя с 23:52, 15.03.2010 по 07:35, 18.04.2010.  
Красная траектория - наблюдения. Черная траектория - модель.



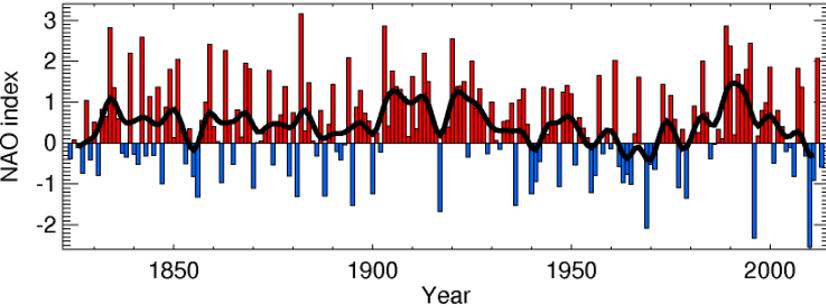


# SLP regression on normalized NAO index [mb]

Time series of the NAO index from 1958 to 2006 defined as pressure difference between SLP anomalies at Azores High and Iceland Low [mb]. Periods less than 5 years is removed using low pass filtration.

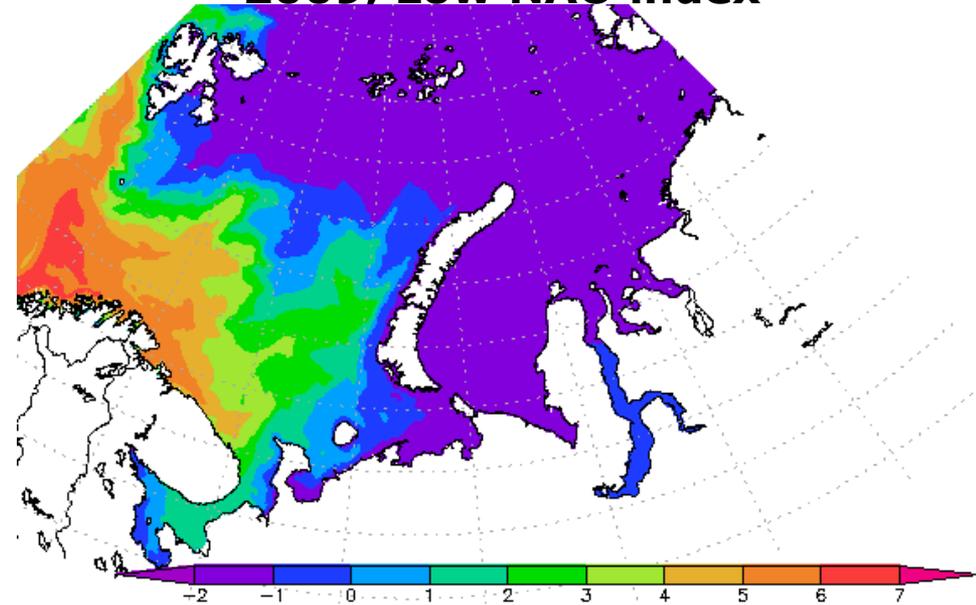


Winter (DJFM) NAO index updated to winter 2012/2013

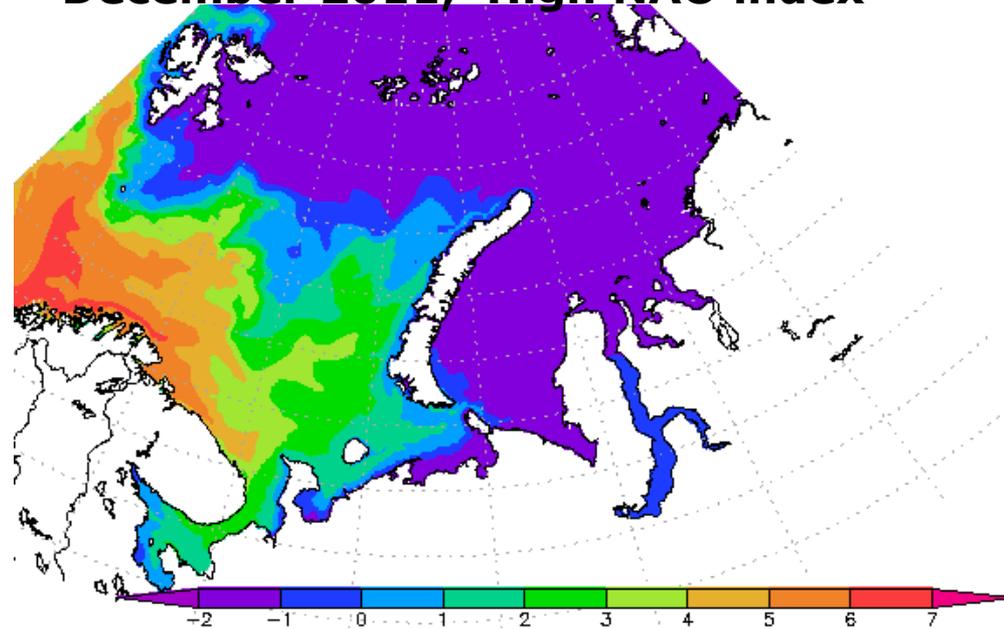


Year	Index
1994/5	+2.44
1995/6	-2.32
1996/7	+0.18
1997/8	+0.80
1998/9	+0.98
1999/2000	+1.85
2000/1	-0.50
2001/2	+0.79
2002/3	+0.40
2003/4	-0.20
2004/5	-0.11
2005/6	-0.82
2006/7	+1.83
2007/8	+1.37
2008/9	-0.31
<b>2009/10</b>	<b>-2.54</b>
2010/1	-0.91
<b>2011/2</b>	<b>+2.08</b>
2012/3	-0.58
2013/4	+2.19

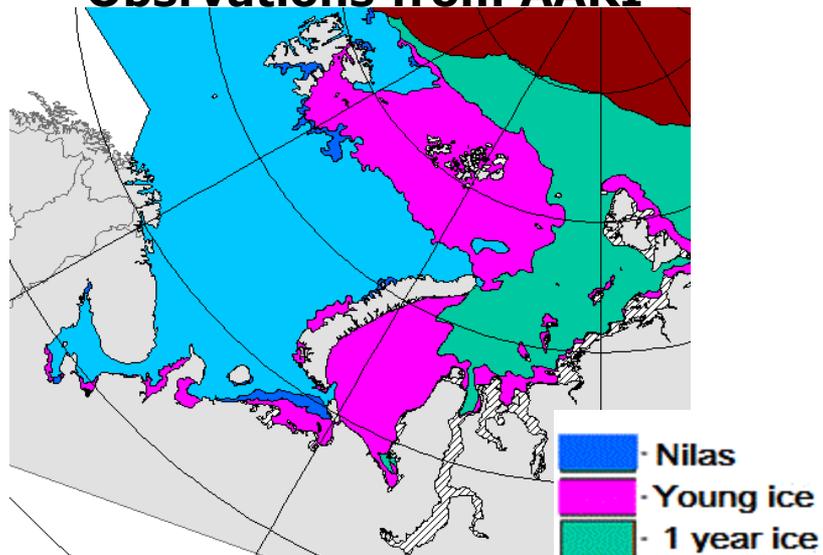
Monthly mean SST, INMOM, December 2009, Low NAO index



Monthly mean SST, INMOM, December 2011, High NAO index



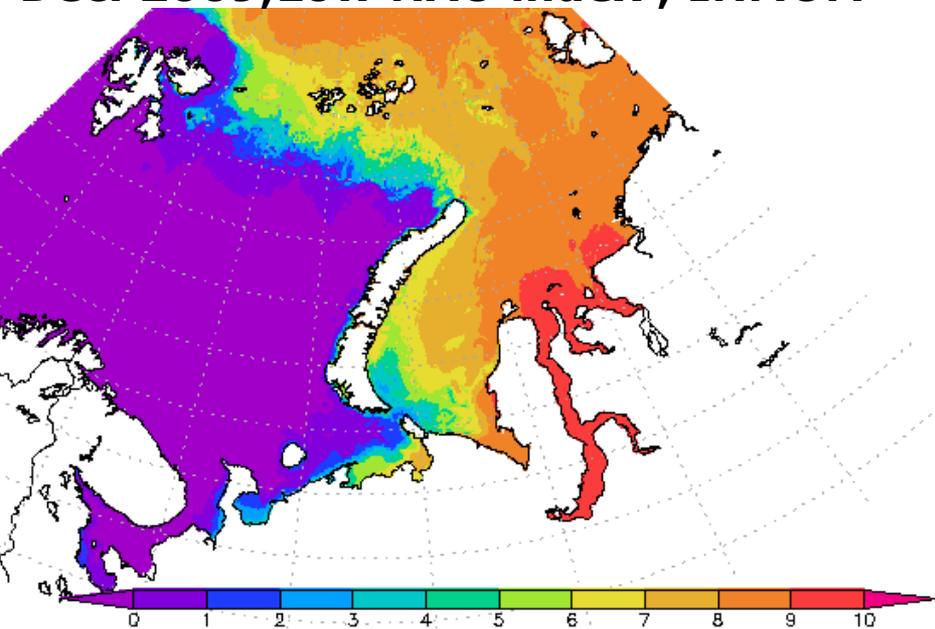
**Marine Ice type, 15 December 2009**  
**Obsrvations from AARI**



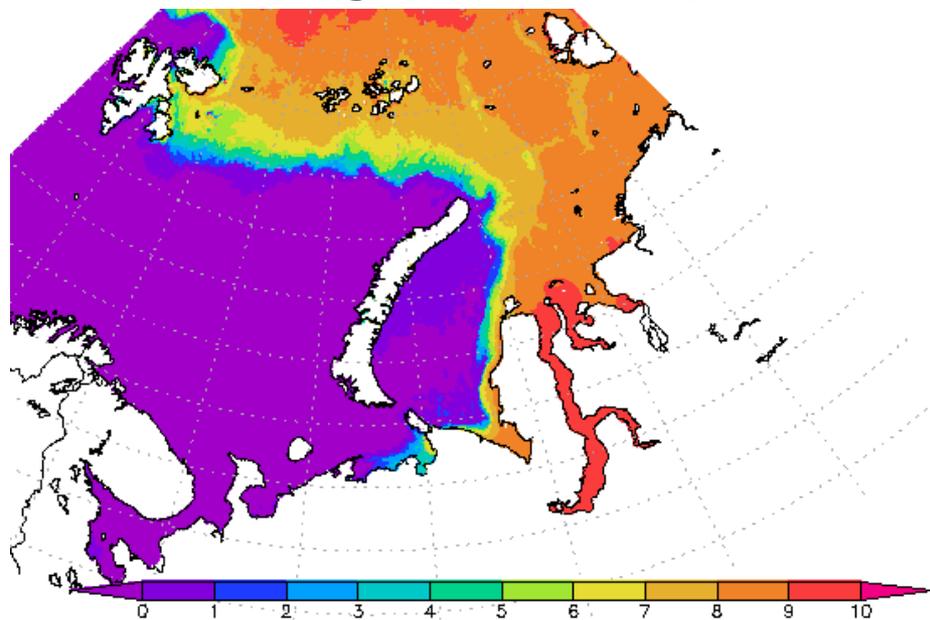
**Marine Ice type ,13 December 2011**  
**Obsrvations from AARI**



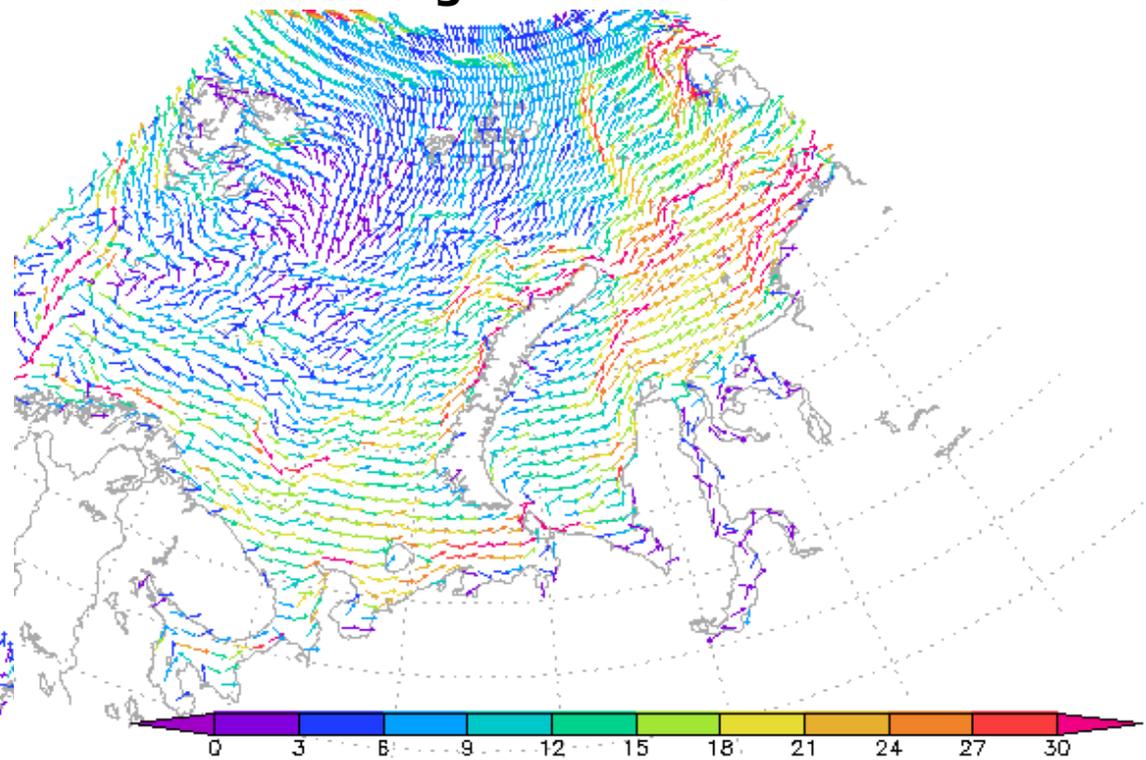
**Monthly mean ice concentration,**  
**Dec. 2009,Low NAO index , INMOM**



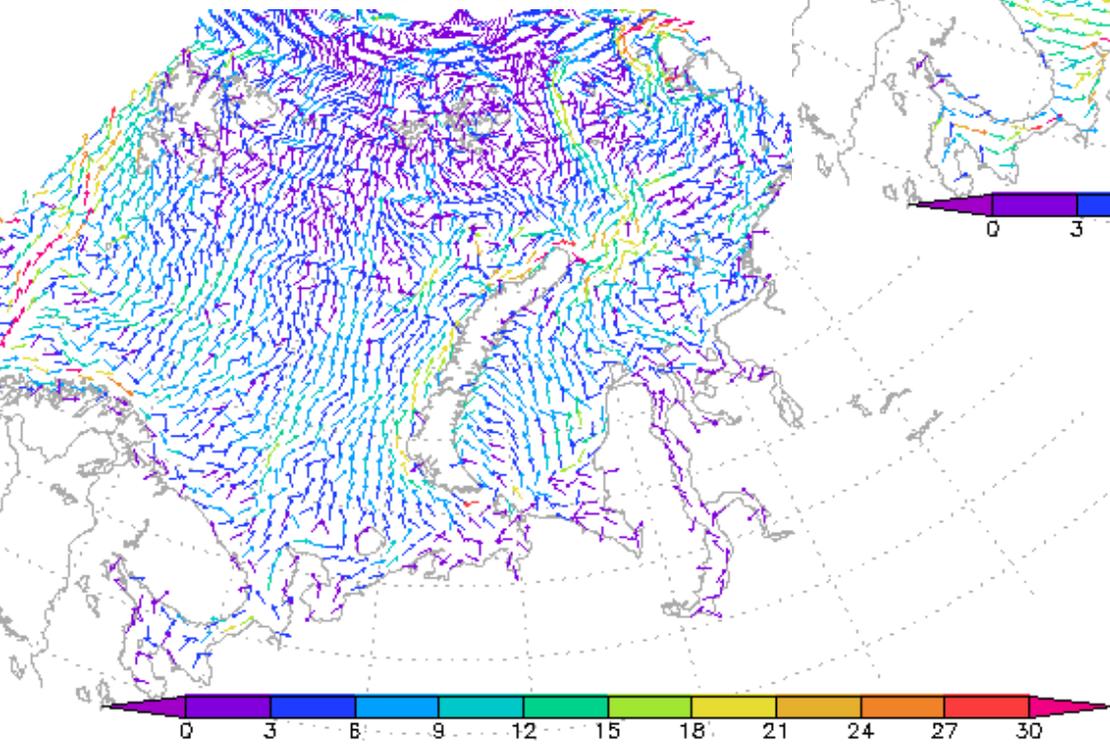
**Monthly mean ice concentration,**  
**Dec. 2011 High NAO index , INMOM**



**Monthly mean surface currents,  
December 2011  
High NAO index**



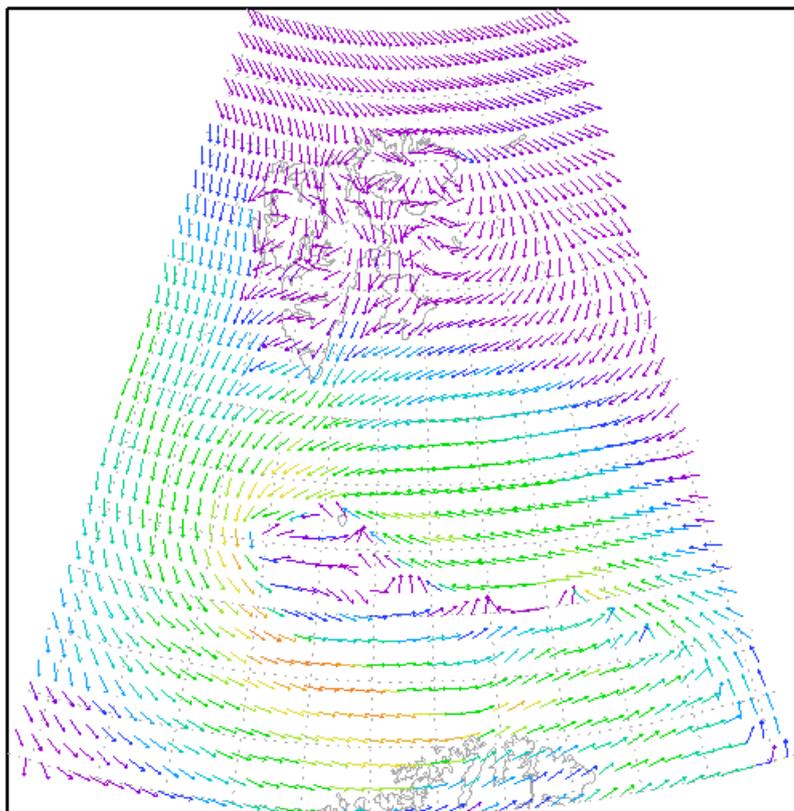
**Monthly mean surface  
currents, December 2009, Low  
NAO index**



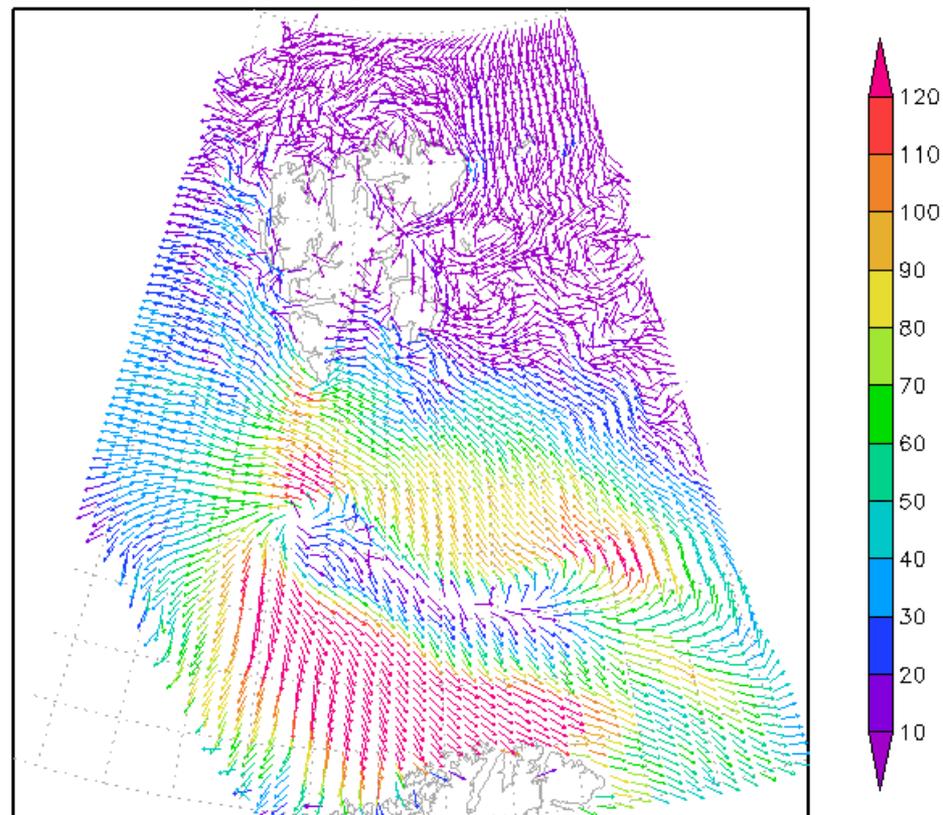
Отклик гидрометеорологических  
характеристик на воздействие от  
экстремальных полярных  
ЦИКЛОНОВ.

# Прохождение полярного циклона, Февраль 2015

Wind velocity [m/s]. Datetime - 15Z11FEB2015

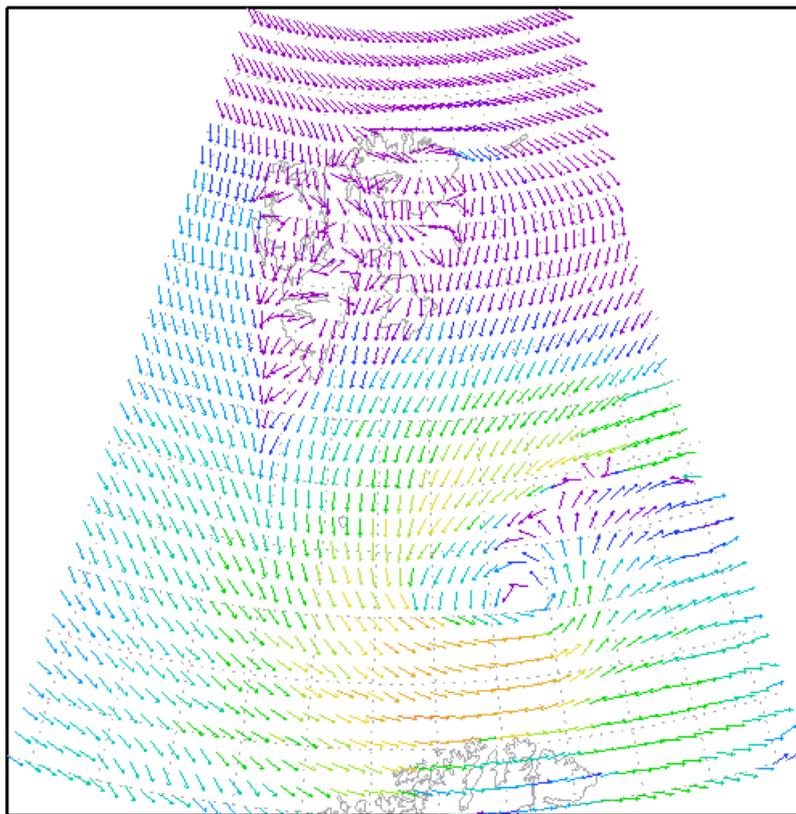


Water velocity [cm/s]. Datetime - 18Z11FEB2015

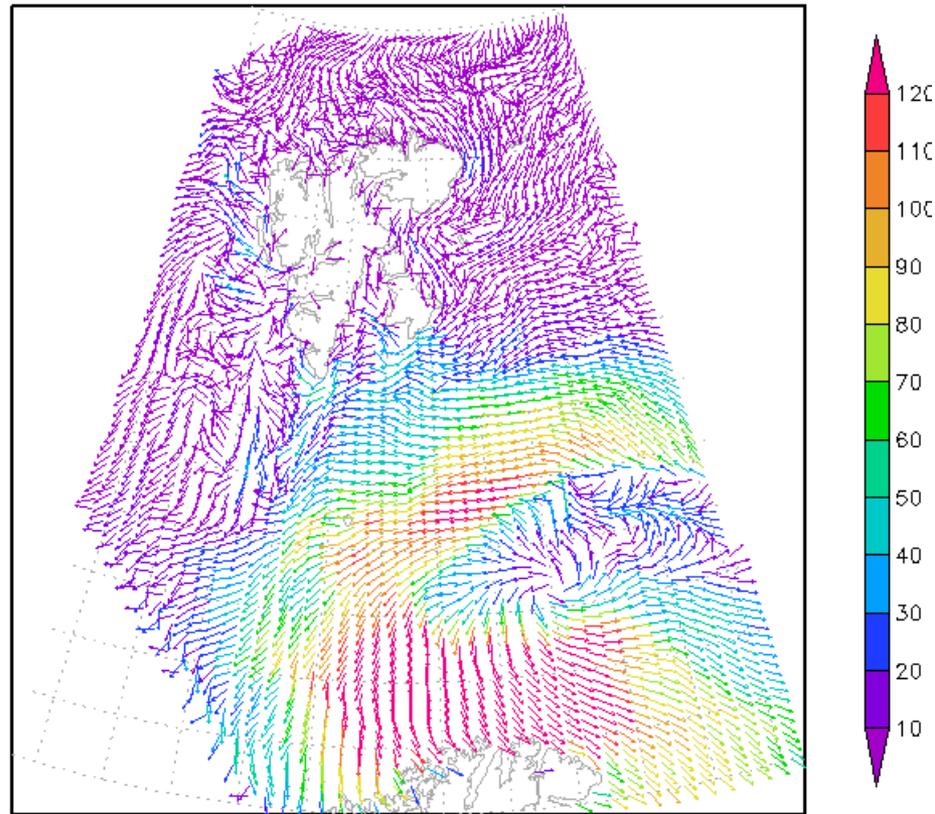


# Прохождение полярного циклона, Февраль 2015

Wind velocity [m/s]. Datetime - 10Z12FEB2015

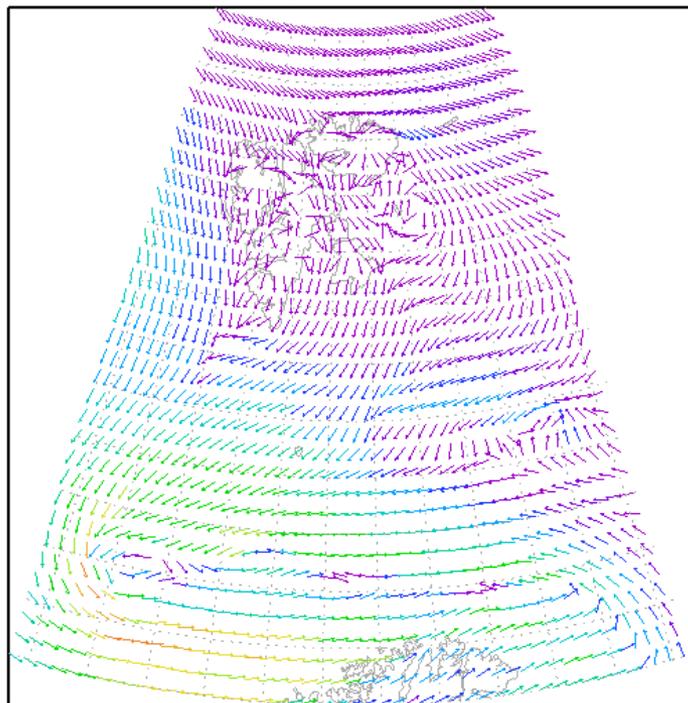


Water velocity [cm/s]. Datetime - 12Z12FEB2015

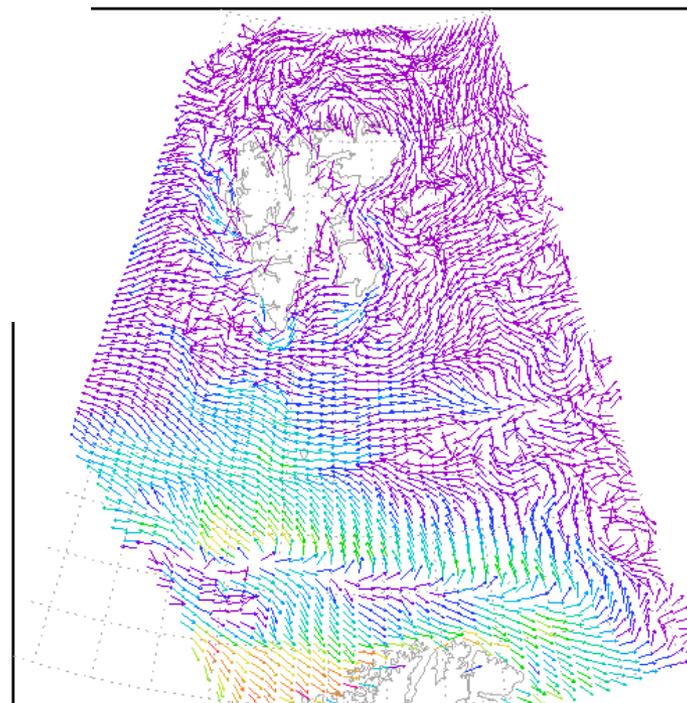


# Прохождение полярного циклона, Февраль 2015

Wind velocity [m/s]. Datetime - 12Z11FEB2015



er velocity [cm/s]. Datetime - 12Z11FEB2015



# Выводы

1. Представлена система моделирования гидрометеорологических характеристик в морских акваториях, реализованная в Государственном океанографическом институте имени Н.Н.Зубова (ГОИН).
2. Показана важность кatabатических ветров в формировании циркуляции Арктических морей.
3. Определен характер водообмена между Карским и Печерским морями через пролив Карские ворота.
4. Сделана оценка влияния САК на циркуляцию Арктических морей.
5. Рассчитан отклик гидрометеорологических характеристик на воздействие от экстремальных полярных циклонов.

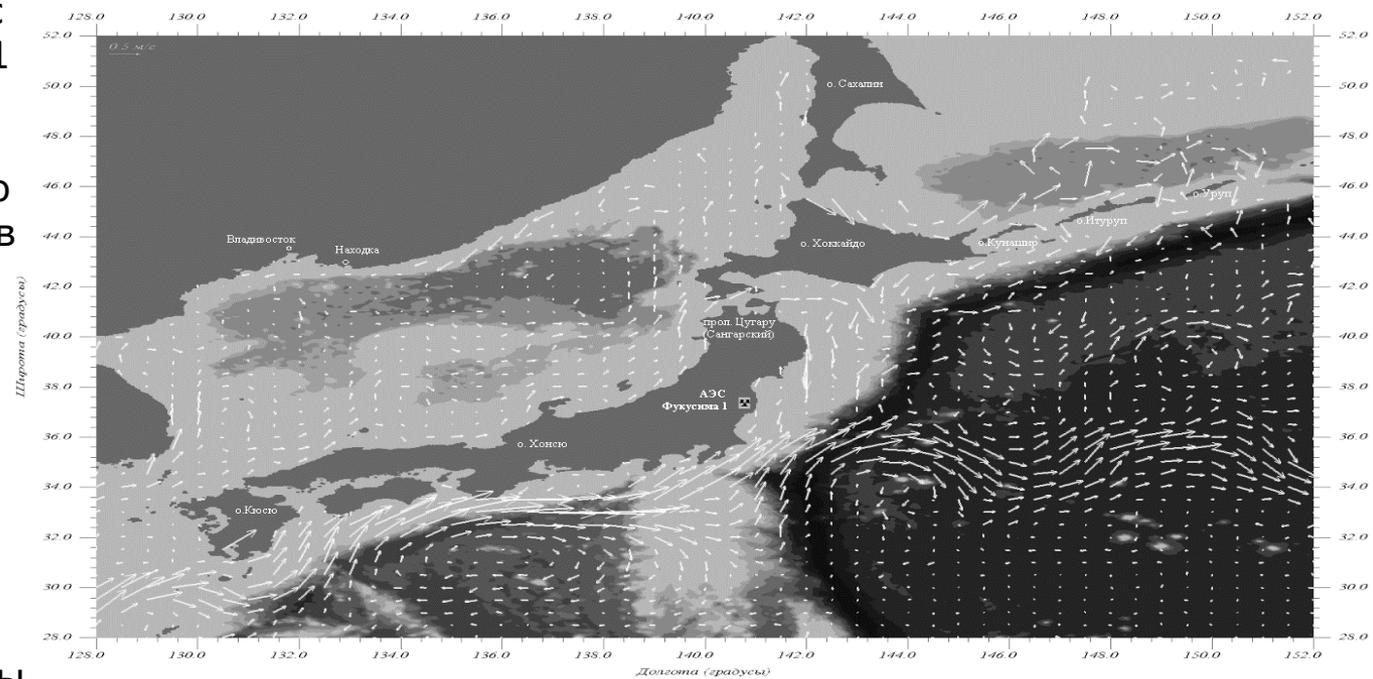
# Особенности распространения загрязнений в северо-западной части Тихого океана

Представлены результаты двух расчетов распространения загрязняющих веществ (ЗВ) в Тихом океане:

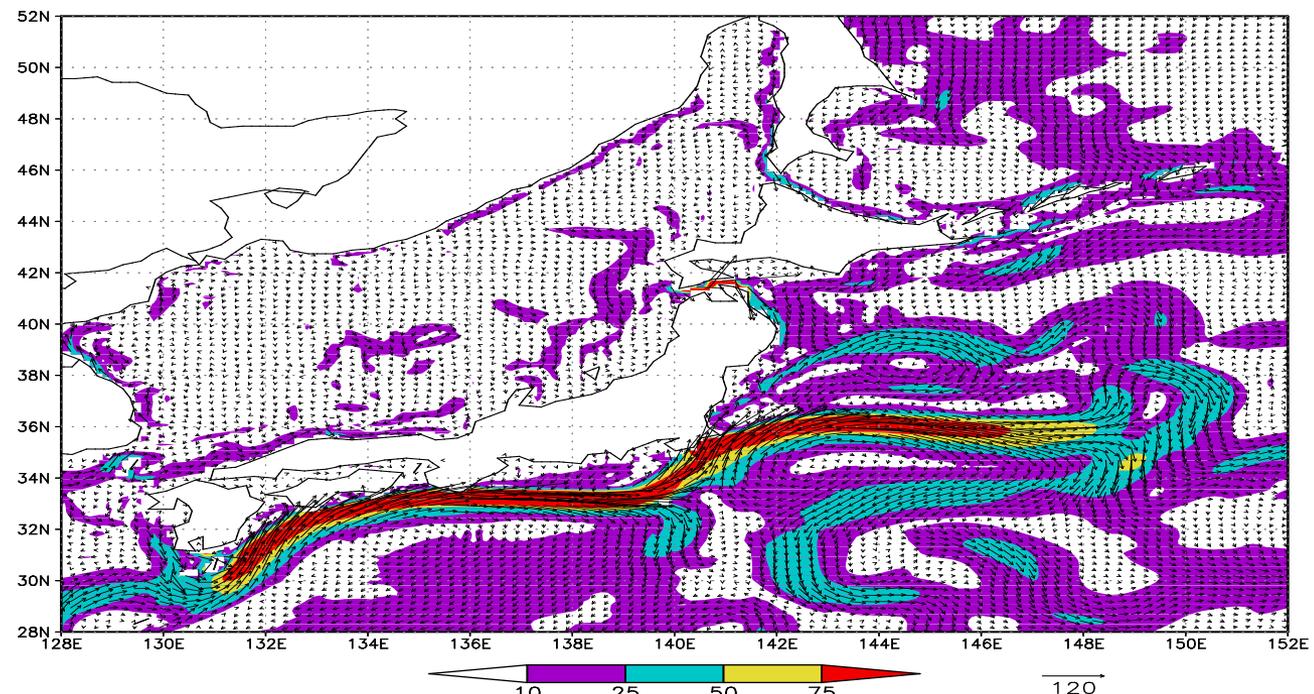
1) при возможных авариях судов в процессе транспортировки отработанного ядерного топлива из Петропавловска-Камчатского и 2) от японского побережья из-за аварии на АЭС “Фукусима!1”, произошедшей 11.03.2011 г. Для расчета циркуляции использовалась  $\sigma$ -модель гидротермодинамики океана Института вычислительной математики (ИВМ) РАН, настроенная на акваторию Тихого океана от экватора до Берингова пролива с высоким пространственным разрешением  $(1/8)^\circ$ , способная воспроизводить мезомасштабную изменчивость океана. Оценка распространения ЗВ в случае возможных аварий судов проводилась для течений, характерных для среднестатистического года с атмосферным воздействием согласно данным так называемого нормализованного года CORE.

Для оценки распространения ЗВ от АЭС “Фукусима!1” проводился расчет циркуляции с реальным атмосферным воздействием согласно данным анализа NCEP, получаемым из Гидрометцентра РФ. При этом проводилось упрощенное усвоение наблюдаемой ТПО. В обоих случаях расчет течений велся одновременно с расчетом переноса ЗВ как пассивной примеси, что соответствует расчету переноса ЗВ в оперативном режиме. Анализ карт распространения ЗВ показывает, что горизонтальный перенос существенно интенсивнее в верхних слоях океана, чем в глубинных. Поэтому возможны ситуации, например, в северной ветви Кюросио, когда ЗВ попадает в глубинные слои не через глубинный горизонтальный перенос, а при вертикальном опускании из верхних слоев, куда оно уже поступило. Однако из-за сложной трехмерной структуры горизонтального и вертикального переноса возможны и обратные ситуации. Расчет переноса ЗВ от АЭС “Фукусима!1” показал, что радиоактивное загрязнение будет распространяться в восточном направлении и не представляет угрозы для российской территории. Более того, превышение фонового значения загрязнения, даже при завышенном сценарии выброса ЗВ, наблюдается только в узкой области у японского побережья шириной не более 50 км.

Поле средних за период с апреля 1989 по март 2011 гг. поверхностных течений, построенное в районе Японских о-вов по данным дрейфующих буев NOAA (США) и IFREMER (Франция) с использованием разработанной в ГОИНе компьютерной информационно-справочной системы "Поверхностные течения Мирового океана".



Стрелки течений показаны на полуградусной сетке на фоне глубины океана в градациях серого цвета. б – Среднее с 01.01.2011 г. по 28.03.2011 г. поле скорости течений в приповерхностном слое в том же районе по результатам расчета модели. Стрелки показаны для каждой второй точки расчетной сетки. Масштаб стрелок и величины скоростей в цветовых градациях показаны под рисунком.



Распространение пассивной примеси от АЭС "Фукусима-1" на поверхности океана для четырех характерных моментов времени от начала расчета: 13 марта 2011 г. (а), 17 марта 2011 г. (б), 22 марта 2011 г. (в) и 28 марта 2011 г. (г). Шкала градаций концентрации пассивной показана внизу.

Контурными линиями очерчены характерные уровни опасности концентрации ЗВ с превышением фонового уровня и ПДК. На карты концентрации пассивной примеси нанесены векторы скоростей течений на поверхности океана с масштабом стрелок в см/с, указанном под рисунками.

