

|||||

Модельный архив COSMO-CLM Russian Arctic hindcast 1980 – 2016: технология создания, оценки качества воспроизведения приземных полей температуры и скорости ветра по станционным и спутниковым данным и перспективы дальнейшего развития

Платонов Владимир

МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет,
кафедра метеорологии и климатологии vplatonov86@gmail.com

При участии:

Варенцов М.И. (НИВЦ МГУ, ГМЦ РФ, ИФА РАН)

Шестакова А.А. (ИФА РАН)

Бойко А.П. (МГУ имени М.В.Ломоносова)

Дунцев С.А. (МГУ имени М.В.Ломоносова)



Содержание доклада

- COSMO-CLM Russian Arctic hindcast (шаг сетки $0.108^0 \approx 12$ км, период 1980 – 2016): **технология создания и постановка экспериментов.**
- Использованные данные для верификации: наблюдения за **скоростью ветра на 10 м** и **температурой на 2 м** на станциях Росгидромета; данные спутниковых альтиметров и радаров по **скорости ветра на 10 м**.
- **Оценки** воспроизведения модельным архивом климатологии скорости ветра **по станционным данным**.
- Регион Новой Земли: **оценки** воспроизведения модельным архивом климатологии скорости ветра по данным **спутниковых альтиметров** и случаев сильных скоростей ветра по данным **спутниковых радаров**.
- Оценка климатологии и трендов температуры на 2 м и индексов ETCCDI: сравнение с данными **станционных наблюдений**.
- **Выводы и дальнейшие планы развития работы.**

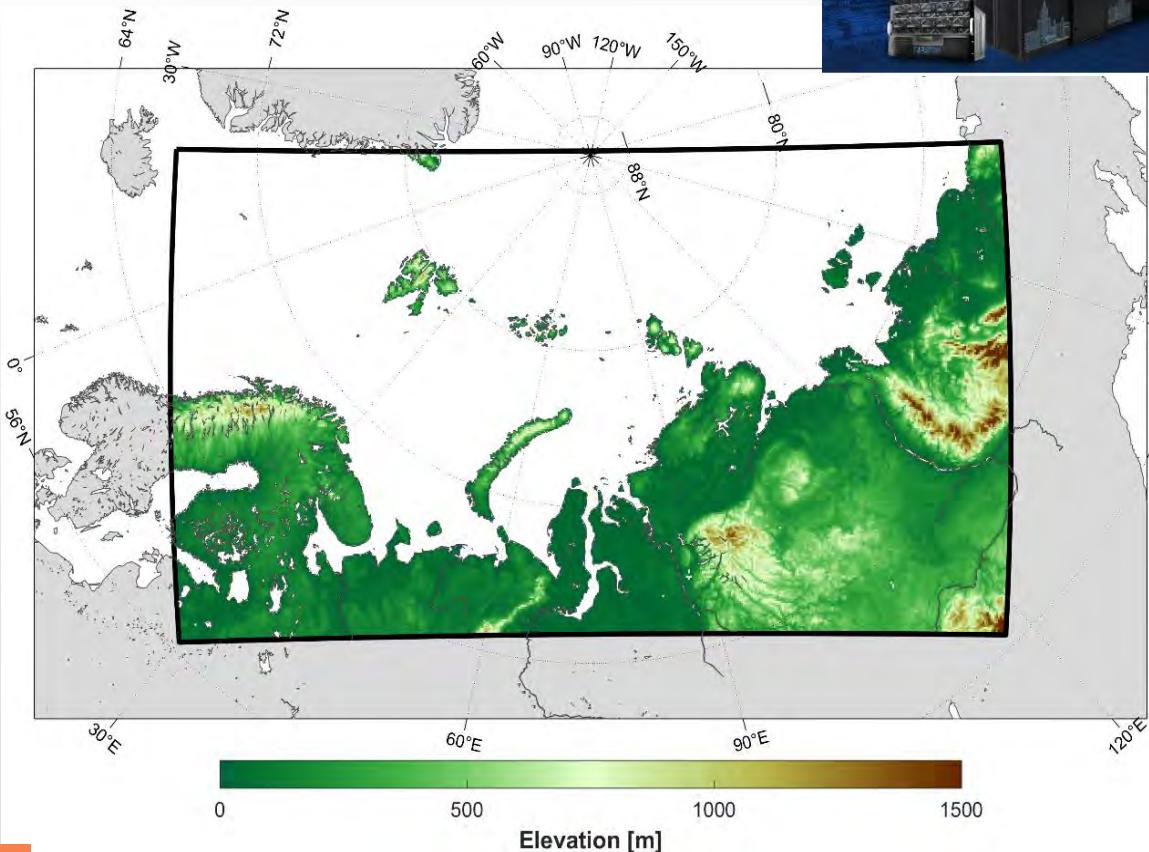
COSMO-CLM Russian Arctic hindcast

Климатическая версия региональной негидростатической модели **COSMO-CLM** (ver. 5.05).

Основная информация о модельном архиве:

- Начальные и граничные условия: **ERA-Interim**;
- **Период 1980 – 2016 гг.;**
- Суперкомпьютерный комплекс МГУ “Ломоносов-2”;
- **50** модельных уровней (**11** уровней – в ППС);
- Арктический регион с шагом сетки **0.108°** (~**12** км), вывод модельных данных – **1 час**;
- Несколько **десятков** 2D- и 3D-величин.

V. Platonov, M. Varentsov. Creation of the long-term high-resolution hydrometeorological archive for Russian Arctic: methodology and first results. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 386(012), 2019.
<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/386/1/012039>



V. Platonov and M. Varentsov. Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation. *Atmosphere*, 12(3): 350; 2021.
<http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>

Технология создания модельного архива

Проведение тестовых экспериментов

включало в себя:

- Технология **спектрального наджинга**;
- Коррекция параметризации турбулентной диффузии: $t_{khmin} = t_{kmmmin} = 0.1$ [Cerenzia et al., 2014];
- Использование версий модели COSMO-CLM **5.0** и **5.05** с т.н. **ICON-based physics** [Zangl et al., 2015; Giorgetta et al., 2018];
- Данные **ERA-Interim** или **ERA5** в качестве начальных и граничных условий;
- «**Spin up**»: **1 месяц** или отсутствие.

На основе результатов тестовых экспериментов и их верификации была выбрана следующая **оптимальная конфигурация модели**:

- Со **спектральным наджингом**;
- **Новая версия модели 5.05**, включающая *ICON-based physics*;
- Данные реанализа **ERA-Interim** в качестве начальных и граничных условий.

Каждый месяц проводилась реинициализация модели **характеристиками подповерхностных слоёв почвы** (>2.5 см) из данных реанализа.

Тестовые эксперименты

Краткое сравнение статистики

	Декабрь–январь 2012–2013 гг.			Август–сентябрь 2015 г.		
Конфигурация экспериментов	RMSE/R T 2m	RMSE/R V 10m	RMSE/R PMSL	RMSE/R T 2m	RMSE/R V 10m	RMSE/R PMSL
Interim base	4.22/0.76	2.30/0.55	2.98/0.96	2.38/0.77	2.02/0.65	1.87/0.99
ERA5 base	4.19/0.76	2.30/0.57	2.77/0.97	2.34/0.79	2.00/0.67	1.70/0.99
Interim sn	3.69/0.83	2.12/0.65	2.01/0.99	2.89/0.79	1.89/0.70	1.53/1.00
ERA-5 sn	3.70/0.83	2.10/0.66	2.13/0.99	2.29/0.81	1.87/0.71	1.42/1.00
<u>Interim sn+5.05</u>	3.34/0.85	2.22/0.65	1.69/0.99	2.10/0.81	1.97/0.70	1.40/1.00
ERA-5 sn+5.05	3.33/0.85	2.24/0.67	1.63/0.99	2.16/0.82	1.97/0.70	1.34/1.00
<u>Interim turb+sn</u>	3.38/0.84	2.12/0.65	2.08/0.99	2.35/0.79	1.89/0.69	1.57/1.00
ERA-5 turb+sn	3.37/0.85	2.09/0.66	2.18/0.99	2.35/0.81	1.88/0.70	1.45/1.00

Доступ к данным COSMO-CLM Russian Arctic hindcast

Ряд данных о приземных характеристиках – **давление на уровне моря, температура воздуха, удельная влажность, скорость ветра, осадки, потоки явного и скрытого тепла, компоненты радиационного баланса** доступны онлайн на репозитории figshare (<https://figshare.com/collections/Arctic COSMO-CLM reanalysis all years/5186714>) с шагом по времени **3 часа** за периоды **1980 – 2008 гг.** и **2010 – 2016 гг.**, и периодически пополняются (формат **netCDF4**, открытый доступ в соответствии с лицензией CC BY 4.0). Остальные переменные доступны по запросу авторов.

Platonov Vladimir, Varentsov Mikhail (2020). Russian Arctic COSMO-CLM hindcast over 1980–2016 period. figshare. Collection. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5186714>

← Russian Arctic COSMO-CLM hindcast over 1980-2016 period

Show collection details

Sort ▾ Filter ▾ search items

+ Add new items

MANAGE

Dataset	.NC	.NC	.NC	.NC			
PMSL.nc (497.46 MB)	QV_2M.nc (743.59 MB)	T_2M.nc (578.32 MB)	time1998.nc (10.27 kB)				
Arctic COSMO-CLM Reanalysis 2006 Vladimir Platonov 27/10/2020	Arctic COSMO-CLM Reanalysis 2005 Vladimir Platonov 27/10/2020	Arctic COSMO-CLM Reanalysis 2004 Vladimir Platonov 27/10/2020	Arctic Reanalysis COSMO-CLM 1982 Vladimir Platonov 23/10/2020	U_10M.nc (824.51 MB)	V_10M.nc (829.09 MB)	VABSMX_10M.nc (796.95 MB)	latlon.nc (744.11 kB)
Arctic Reanalysis COSMO-CLM 1981 Vladimir Platonov 23/10/2020	Arctic Reanalysis COSMO-CLM 1980 Vladimir Platonov 23/10/2020	Arctic Reanalysis COSMO-CLM 1990 Vladimir Platonov 23/10/2020	Arctic Reanalysis COSMO-CLM 1993 Vladimir Platonov 23/10/2020	SWDIRS_RAD.nc (458.61 MB)	SOBS_RAD.nc (417.79 MB)	LHFL_S.nc (844.37 MB)	THDS_RAD.nc (700.17 MB)

Полный перечень переменных модельного архива

Обозначение переменной	Полное наименование переменной	размерность
U, V, W, T, FI, TKE, POT_VORTIC, H_SNOW, RHO_SNOW, W_SNOW, RELHUM, QV	Zonal, meridional, and vertical velocities, temperature, geopotential, turbulence kinetic energy, Ertel potential vorticity, snow height, density, water content, relative and specific humidity	3D
U_10M, V_10M, VMAX_10M, VABSMX_10M	Zonal, meridional, maximal velocities, and wind gusts on 10 meters	2D
T_2M, TMAX_2M, TMIN_2M, TD_2M, TWATER	2 meters temperature, maximal and minimal, 2 meters dew point, water temperature	2D
PMSL, HPBL	Sea level pressure, planetary boundary layer height	2D
T_S, T_SNOW, T_SO, T_ICE	Surface, snow, soil, ice temperatures	2D
TQC, TQI, TQR, TQS, TQG, TQV	Vertical integrated cloud water, ice, rain, snow, graupel, precipitable water, total water content	2D
CLCM, CLCH, CLCL, CLCT, CLDEPTH	Medium, high, low, total, convective cloud cover, cloud depth	2D
CLC_CON	Convective cloud area fraction	3D
LHFL_S, SHFL_S	Latent and sensible heat fluxes	2D
SWDIRS_RAD, SWDIFDS_RAD, THDS_RAD, THUS_RAD, SOBS_RAD, THBS_RAD, SWDIFUS_RAD, ALB_RAD	Surface radiation components: shortwave direct and diffuse, longwave downward and upward, net shortwave and longwave radiation, reflected, albedo	2D
RELHUM_2M, QV_2M	Relative and specific humidity at 2 meters	2D
FRESHSNW, SNOW_MELT	Freshness of snow, snow melt	2D
TOT_PREC, SNOW_CON, SNOW_GSP, RAIN_CON, RAIN_GSP, RUNOFF_S, RUNOFF_G	Total precipitation, convective and grid-scale snow, convective and grid-scale rain, surface and subsurface runoff	2D
CAPE_MU, CIN_MU, CAPE_ML, CIN_ML	CAPE and CIN indexes of most unstable parcel and mean surface layer parcel	2D

Массивы данных, использованные для оценок

Для оценки климатологии скорости ветра на 10 м и температуры на 2 м:

- COSMO-CLM Russian Arctic hindcast (2000–2008, 2010–2016, ~12 км);
- Реанализ ERA-Interim (1980–2016), 0.75^0 ;
- Станционные наблюдения из базы данных ВНИИГМИ МЦД и архива NOAA (144 станции в Арктике, попадающих в пределы модельной области);
- Архив данных спутниковых альтиметров системы IMOS [Ribal, Young, 2019] (1985–1988 и 1991–2016 гг. <https://portal.aodn.org.au/>): GEOSAT, ERS-1, ERS-2, GFO, ENVISAT, CRYOSAT-2, HY-2, SARAL, SENTINEL-3A (~7 км, ~1.5 м/с) скорость ветра на 10 м для региона о. Новая Земля;

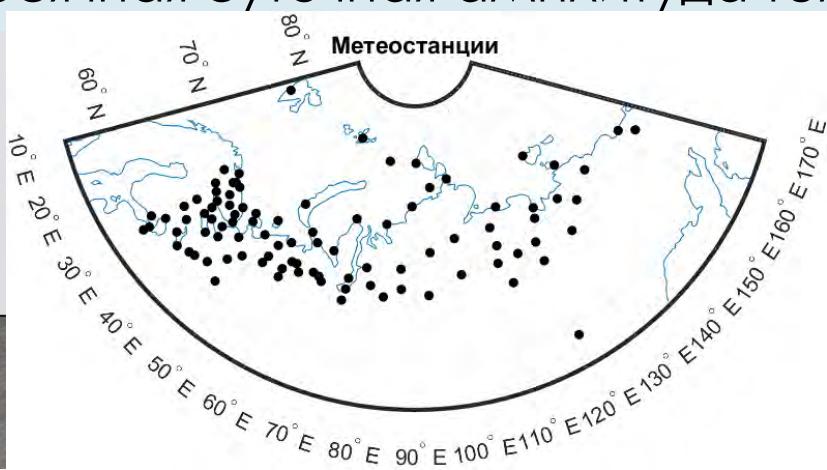
Для оценки качества воспроизведения сильных скоростей ветра на 10 м (регион о. Новая Земля, 45–66 °E, 70–78 °N) и подветренных бурь:

- Скорость ветра на 10 м для случаев подветренных бурь на станциях Ню-Олесунн, Малые Кармакулы, им. Гессена, Ледовая Гавань, Опасный, Тикси;
- Данные реанализов ASRv2 (~15 км), ERA-Interim (0.7^0), ERA5 (0.25^0) и NCEP/CFSR ($\sim 0.2^0$), а также COSMO-CLM Russian Arctic hindcast (~12 км);
- Данные спутниковых радаров SAR с Radarsat-2 (~3 м, ~1.5 м/с) из открытого архива NOAA (<https://www.ncei.noaa.gov/data/oceans/sar-winds/>), в том числе для 19 случаев подветренных бурь;

Методы

Климатические индексы ETCCDI [Karl et al., 1999] (для температуры):

- **FD**, количество дней с минимальной температурой ниже 0°C ;
- **ID**, количество дней с максимальной температурой ниже 0°C ;
- **TX_x**, абсолютный максимум температуры за месяц;
- **TN_x**, месячный максимум суточного минимума температуры;
- **TX_n**, месячный минимум суточного максимума температуры;
- **TN_n**, абсолютный минимум температуры за месяц;
- **DTR**, среднемесячная суточная амплитуда температуры.



Верификация: стандартные статистические характеристики для оценки станционных данных: средняя ошибка, СКО, квантили, корреляция.

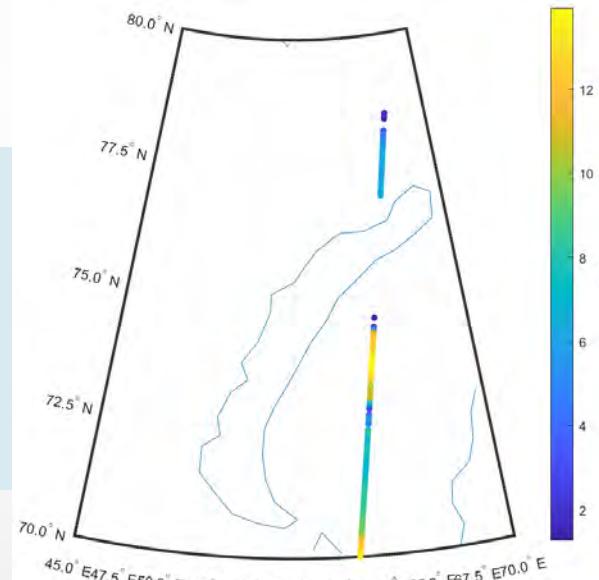
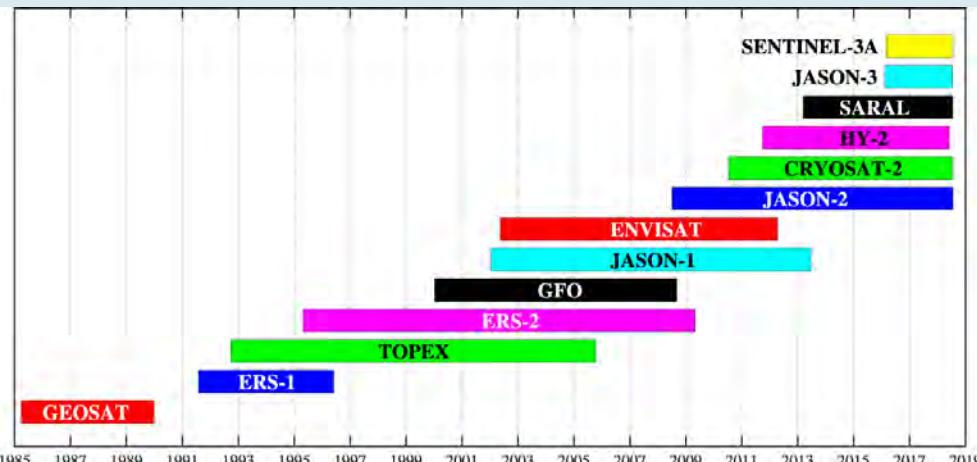
Оценка трендов температуры на 2 м по критерию Стьюдента на **95%** уровне достоверности.

Для **пространственной верификации** скорости ветра по **SAR** применялся метод **SAL** (**S** – structure, **A** – amplitude, **L** – location) предложенный в [Wernli et al. (2008, 2009)].

Методы верификации

Сравнение с альtimетрами: отбор данных **с лагом +-0.5 часа** относительно 3-часовых данных модельного архива; сравнение с ближайшими узлами модели.

Стандартные статистические характеристики: средняя ошибка, СКО, квантили, коэффициенты корреляции, индекс рассеяния.



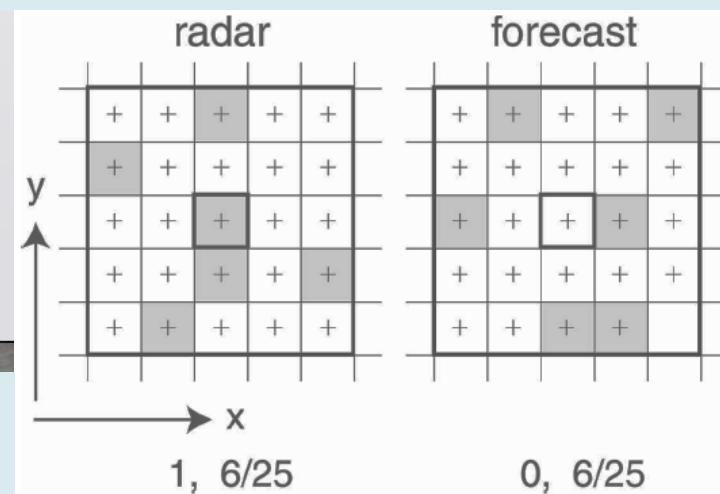
Для верификации скорости ветра по данным **снимков SAR** использовался пространственный метод **Fraction Skill Score (FSS)** [Roberts, Lean, 2008]. Оценивается качество воспроизведения скорости на разных масштабах (n) при различных пороговых значениях.

$$MSE(n) = \frac{1}{N_X N_Y} \sum_{i=1}^{N_X} \sum_{j=1}^{N_Y} [O_{(n)i,j} - M_{(n)i,j}]^2$$

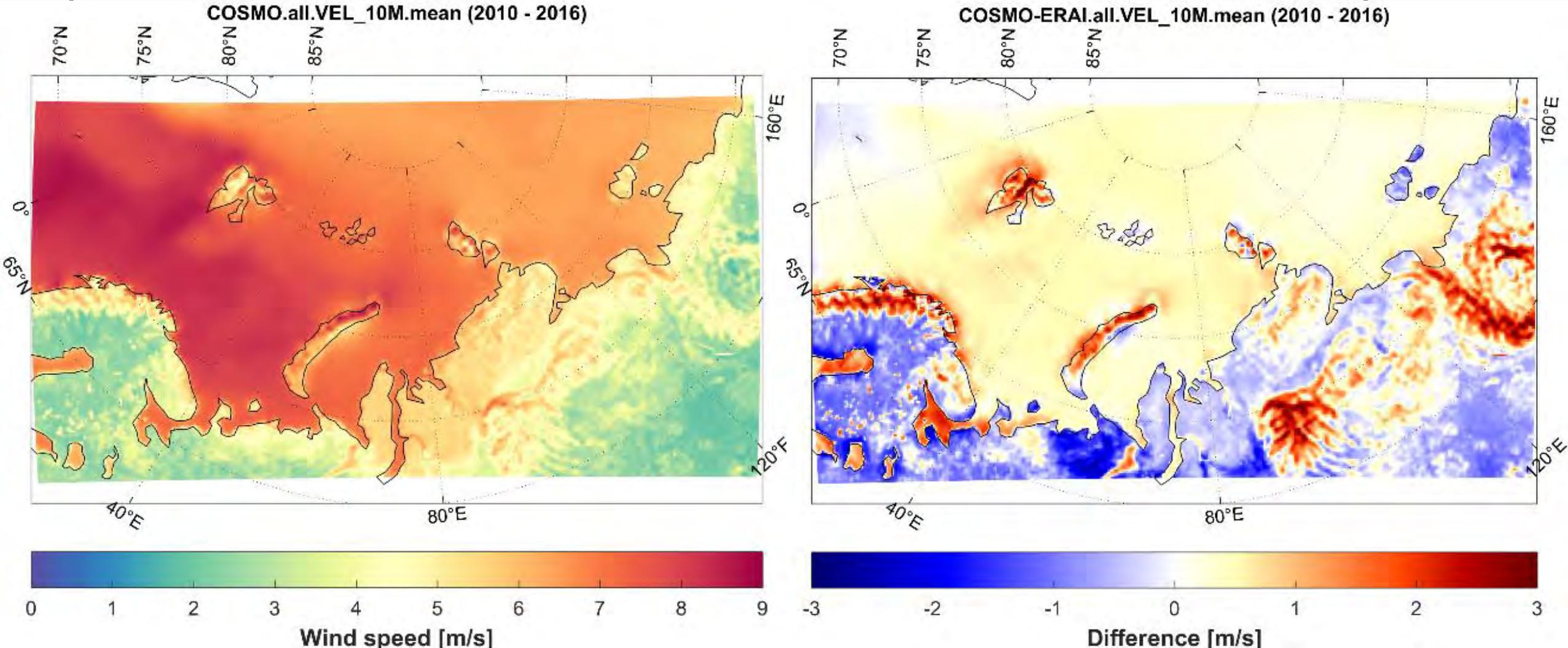
$$FSS_{(n)} = 1 - \frac{MSE_{(n)}}{MSE_{(n)ref}}$$

$$MSE_{(n)ref} = \frac{1}{N_X N_Y} \left[\sum_{i=1}^{N_X} \sum_{j=1}^{N_Y} O^2_{(n)i,j} + \sum_{i=1}^{N_X} \sum_{j=1}^{N_Y} M^2_{(n)i,j} \right]$$

[Roberts, Lean, 2008]



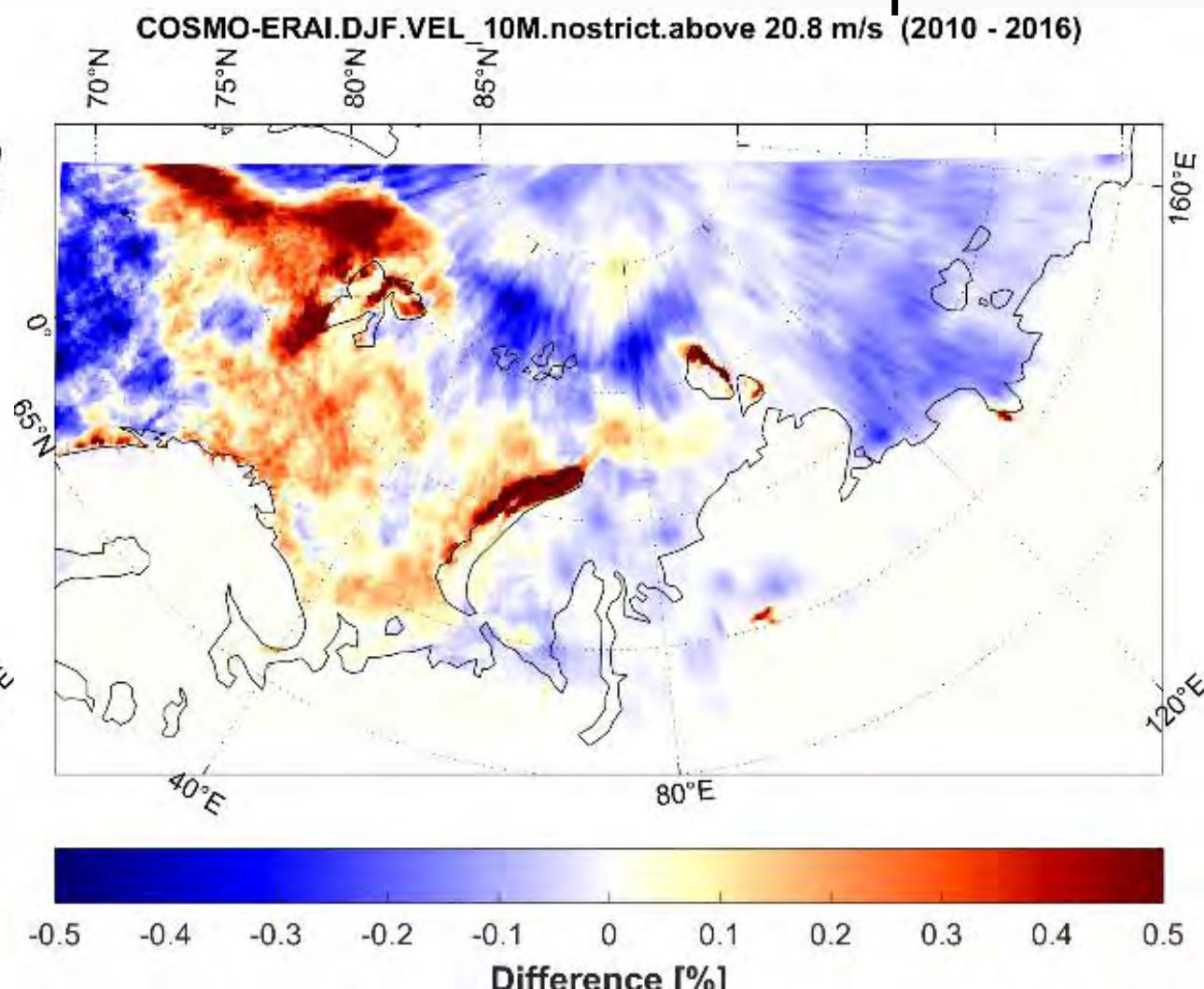
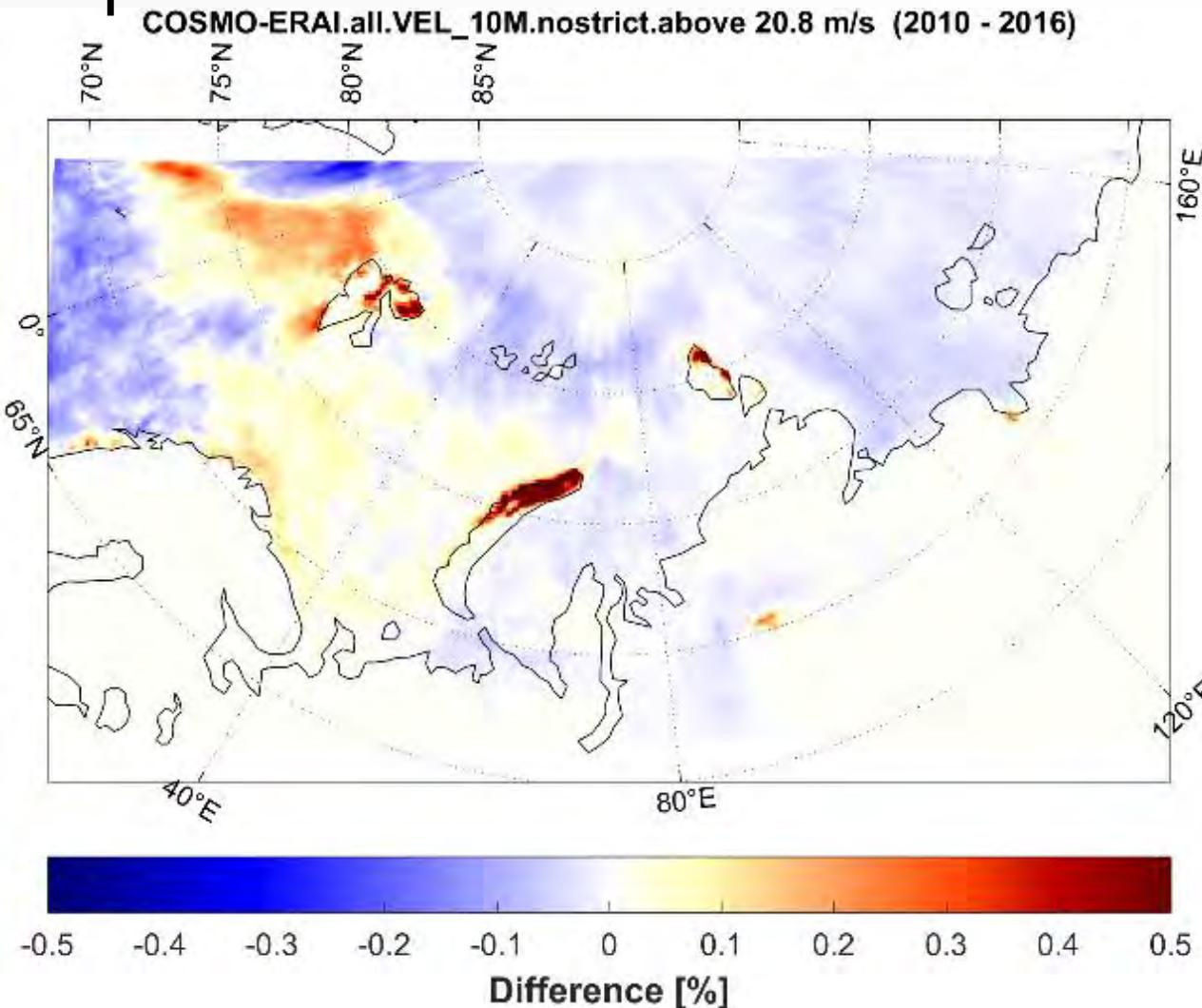
Сравнение COSMO-CLM и ERA-Interim ветер 10 м



Средняя скорость ветра на 10 м по COSMO-CLM hindcast (м/с, слева) и разность “COSMO-CLM-ERA-Interim” (м/с, справа) за период 2010 – 2016 гг.

V. Platonov and M. Varentsov. Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation. *Atmosphere*, 12(3): 350; 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>

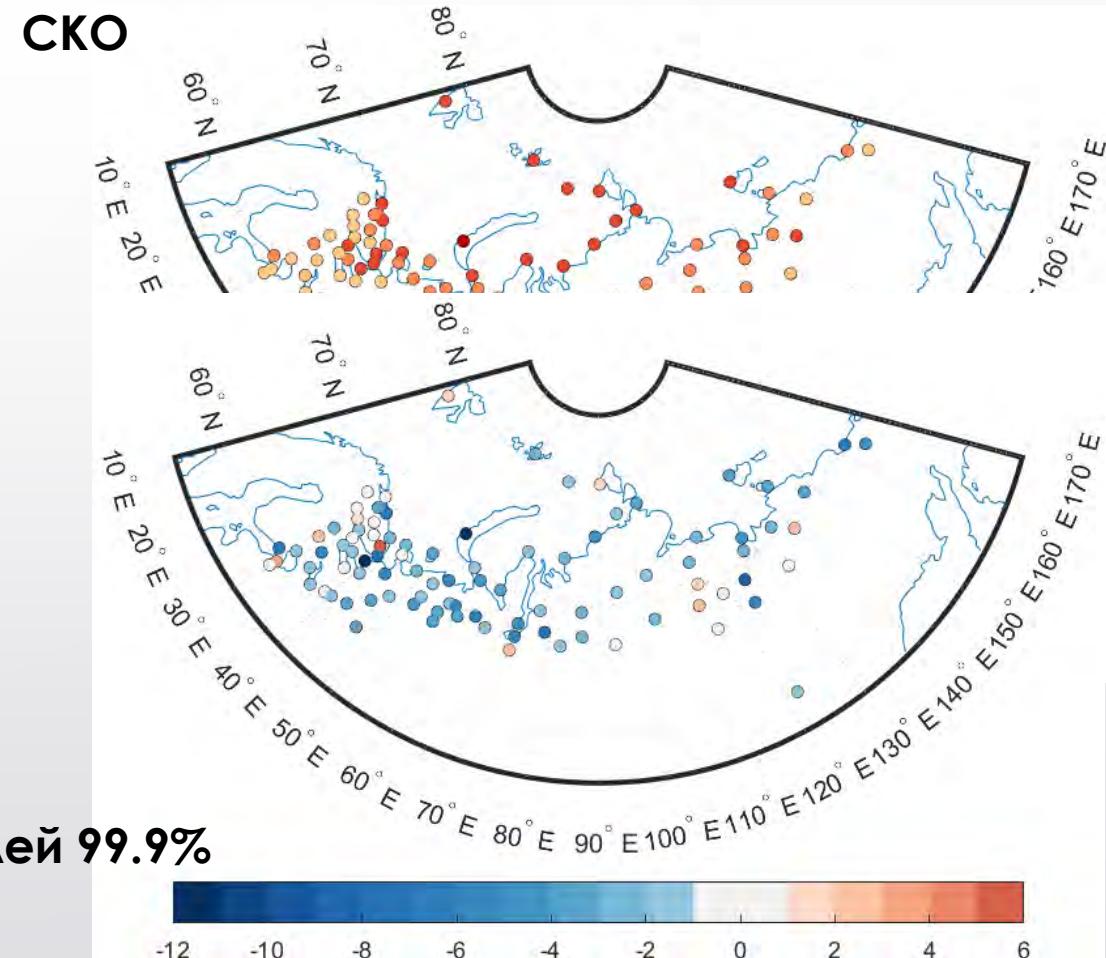
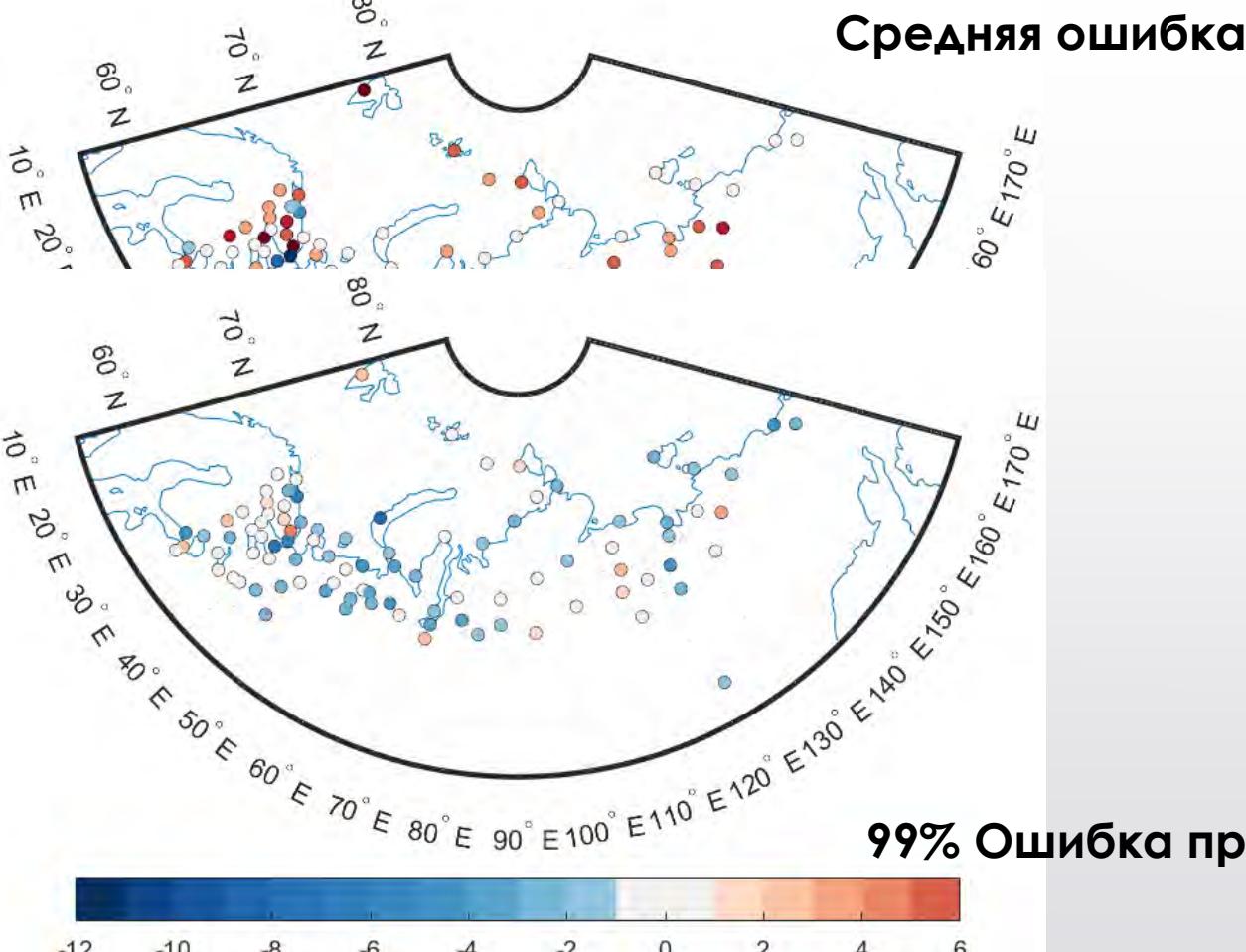
Сравнение COSMO-CLM и ERA-Interim ветер 10 м



Разности “COSMO-CLM–ERA-Interim” в **повторяемости (%)** скорости ветра на 10 м **более 20.8 м/с** за период 2010 – 2016 гг. для **всех месяцев** (слева) и для зимнего сезона (**DJF**, справа).

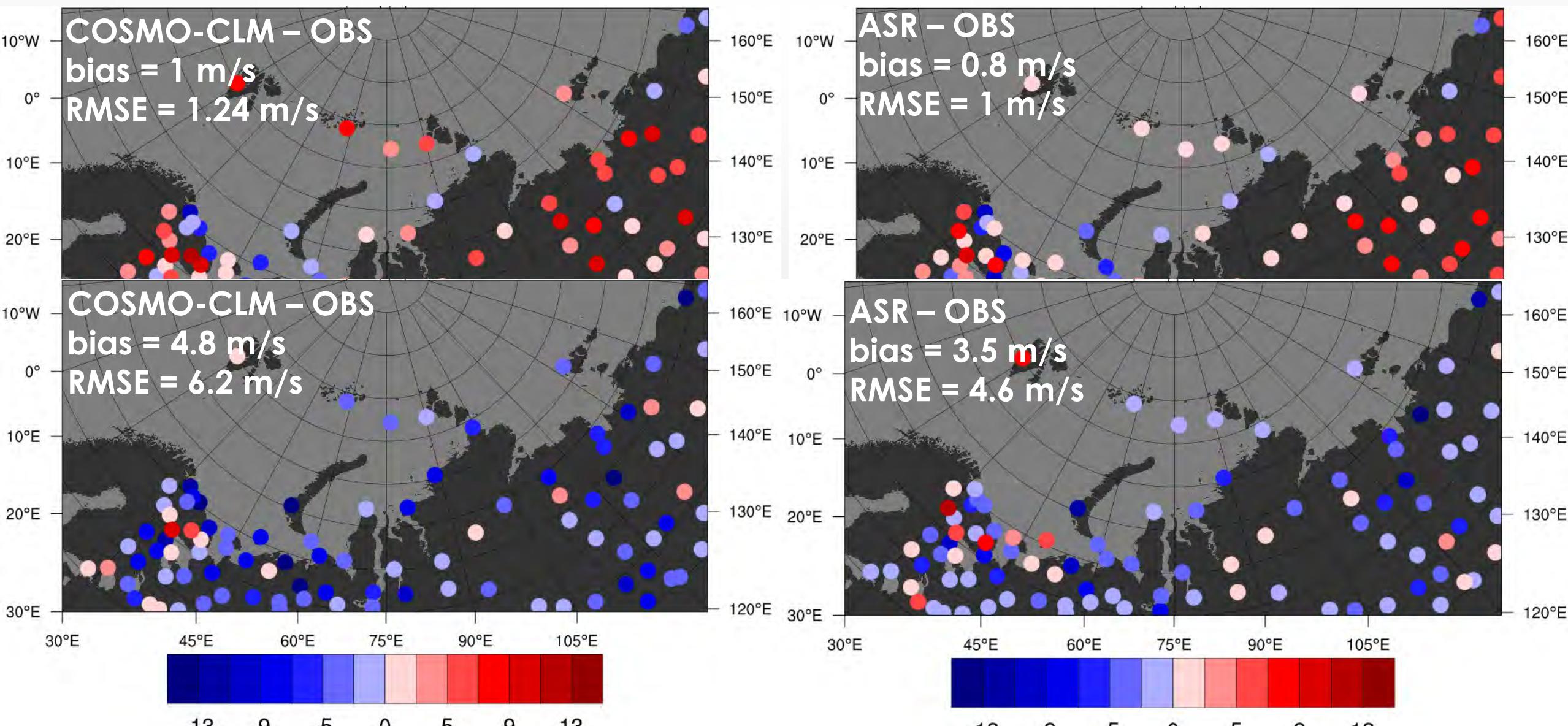
V. Platonov and M. Varentsov. Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation. *Atmosphere*, 12(3): 350; 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>

Сравнение COSMO-CLM со станциями

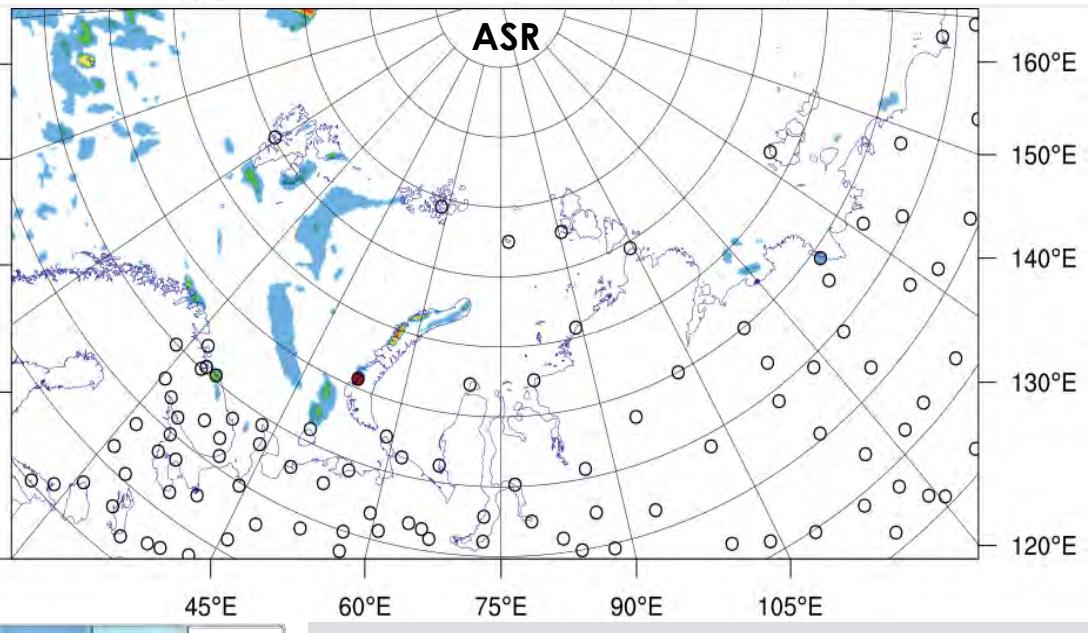
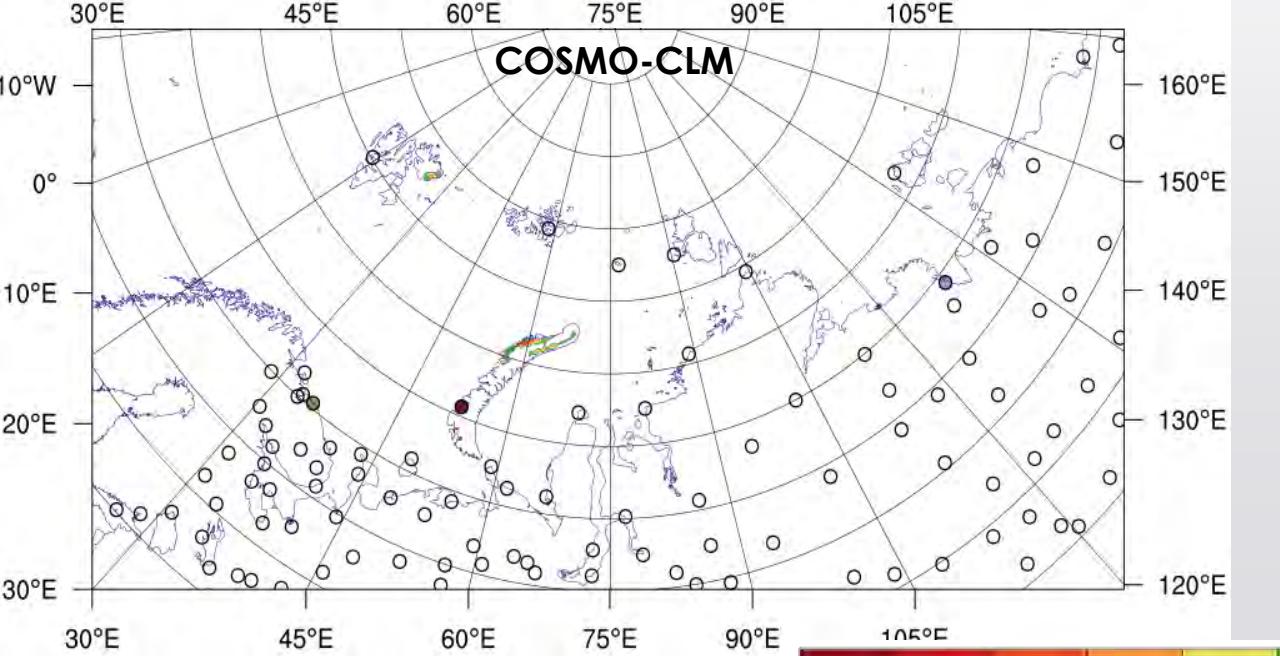
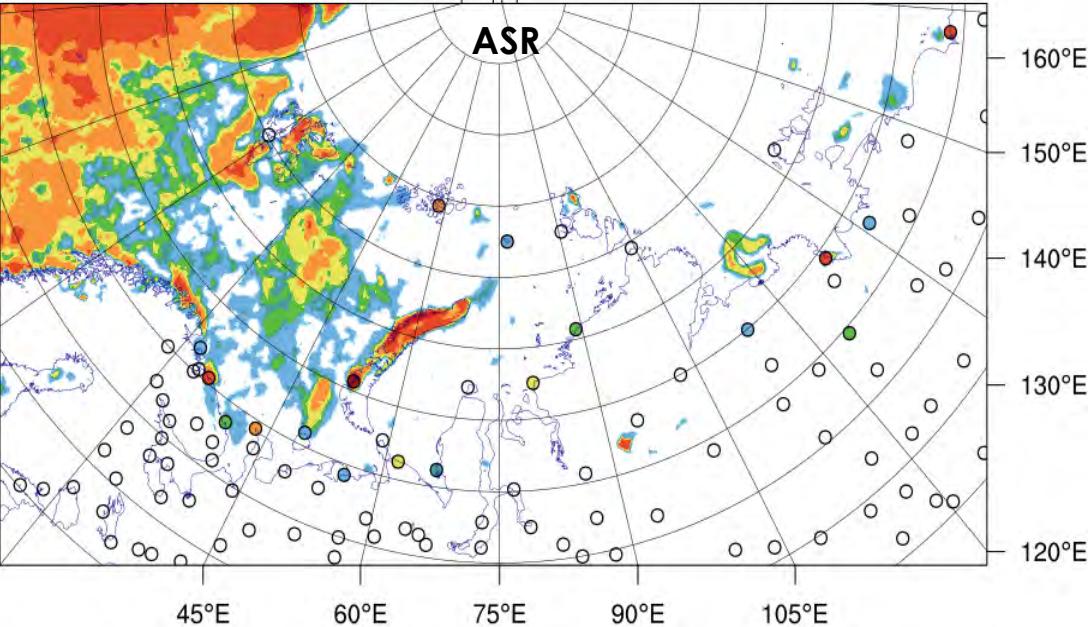
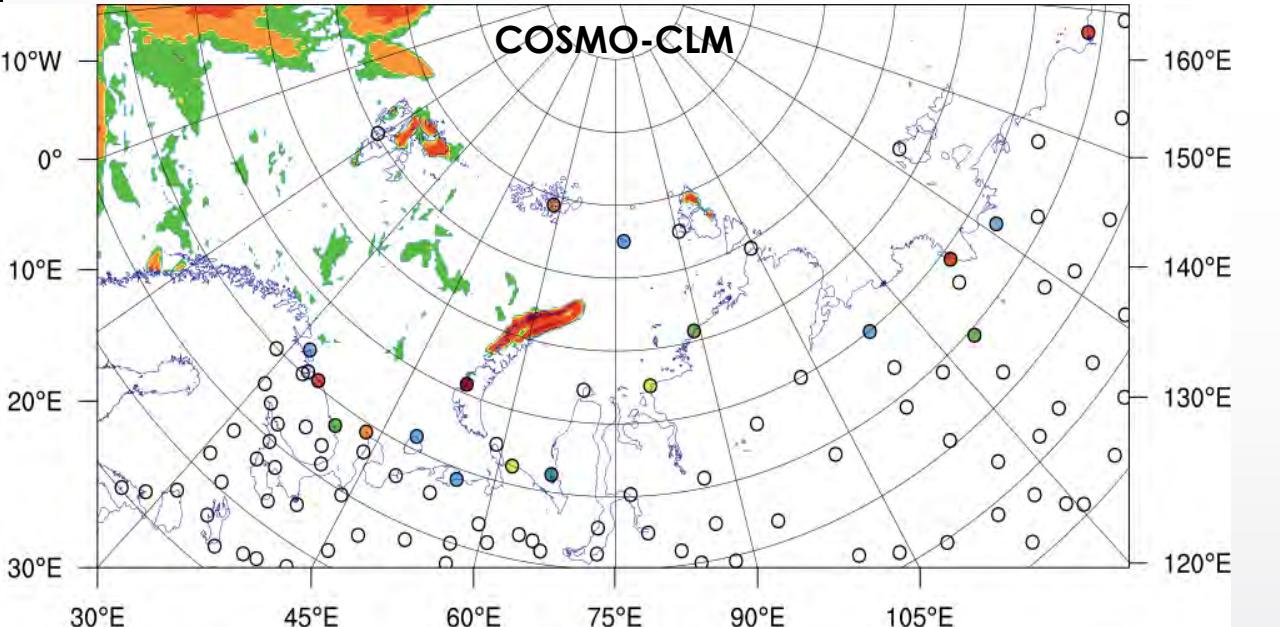


Средние ошибки скорости ветра на 10 м по COSMO-CLM Russian Arctic hindcast (м/с, слева вверху), СКО (м/с, справа вверху), и в процентилях 99% и 99.9% (м/с, слева и справа внизу) по сравнению с наблюдениями за периоды 1980 – 2008 и 2010 – 2016 гг.

Сравнение скорости ветра 10 м по COSMO-CLM и ASRv2



Разность максимальной скорости ветра, м/с



'Период повторения' для скоростей ветра выше 25 м/с (вверху) и 30 м/с (внизу), дни

Воспроизведение подветренных бурь по COSMO-CLM и ASRv2

Критерии определения подветренных бурь (в Тикси, на Шпицбергене и Новой Земле):

Скорость ветра $> 8 \text{ м/с}$;

Направление ветра **Ню-Олесунн** $80 - 140^\circ$;

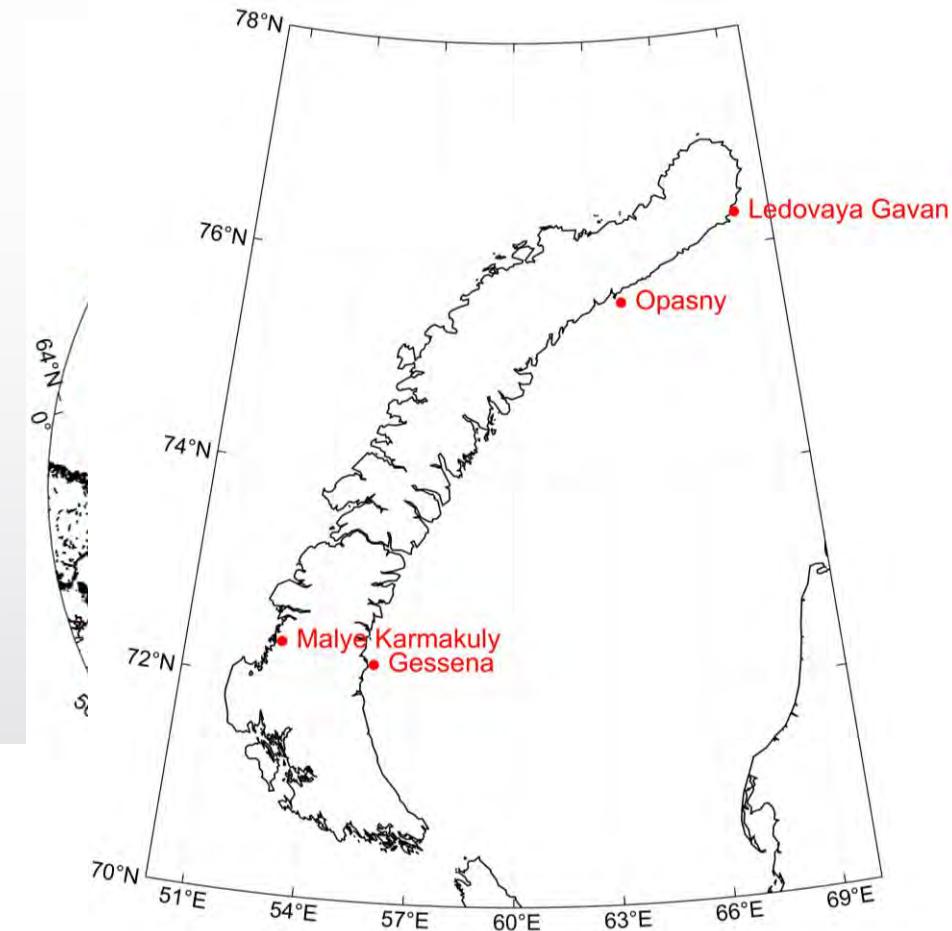
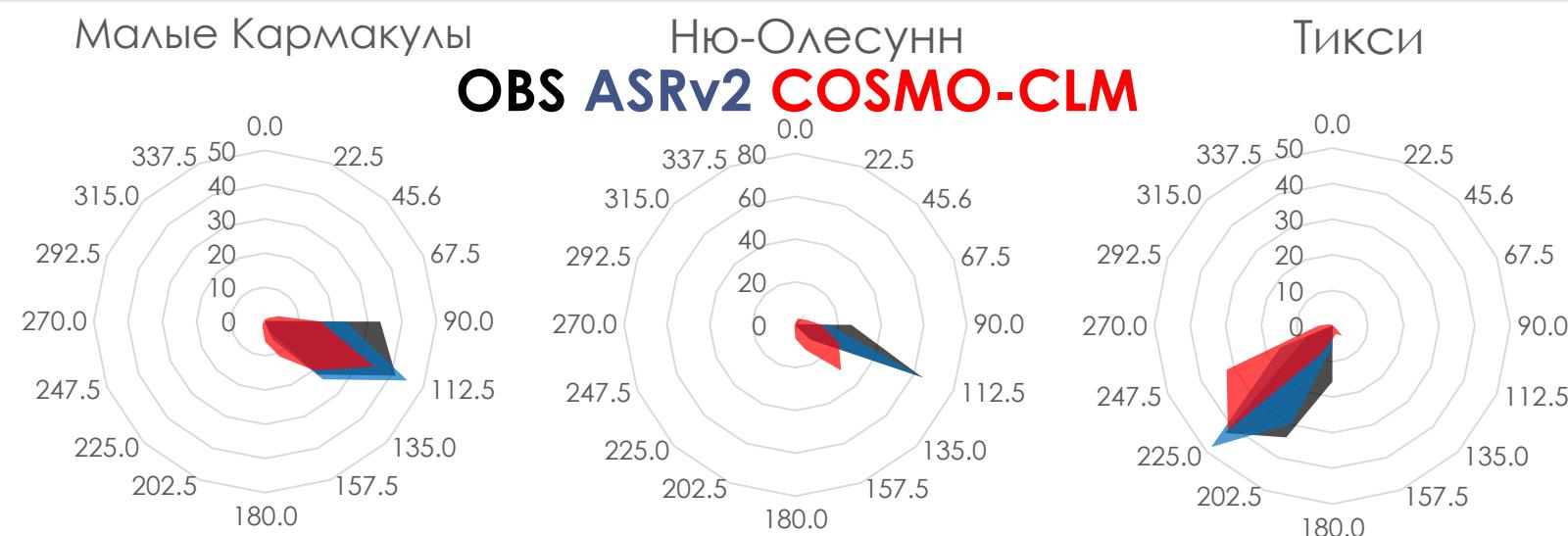
Направление ветра **Малые Кармакулы** $80 - 150^\circ$;

Направление ветра **им. Гессена** $230 - 320^\circ$;

Направление ветра **Ледовая Гавань** $270 - 330^\circ$;

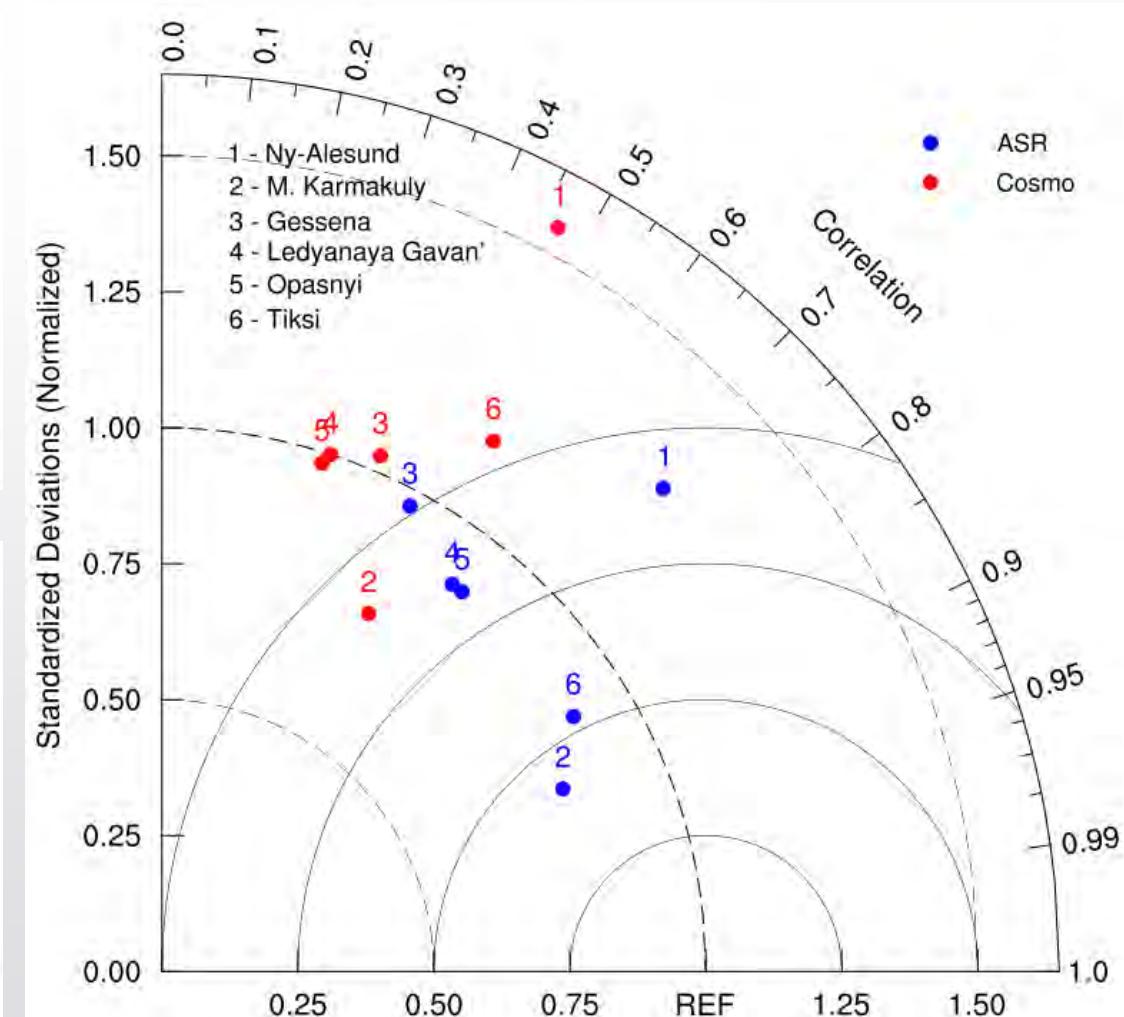
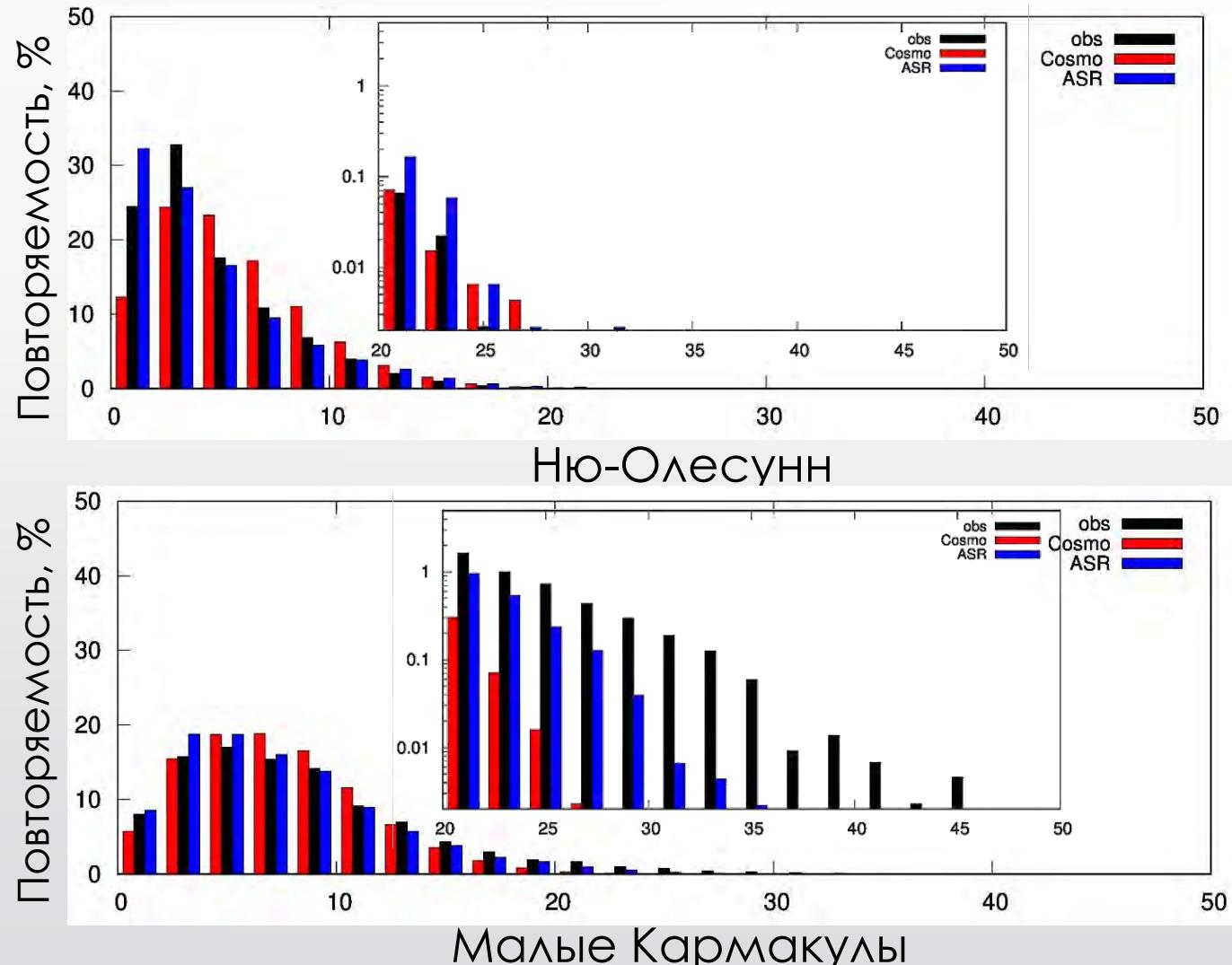
Направление ветра **м. Опасный** $310 - 30^\circ$;

Направление ветра **Тикси** $180 - 240^\circ$.



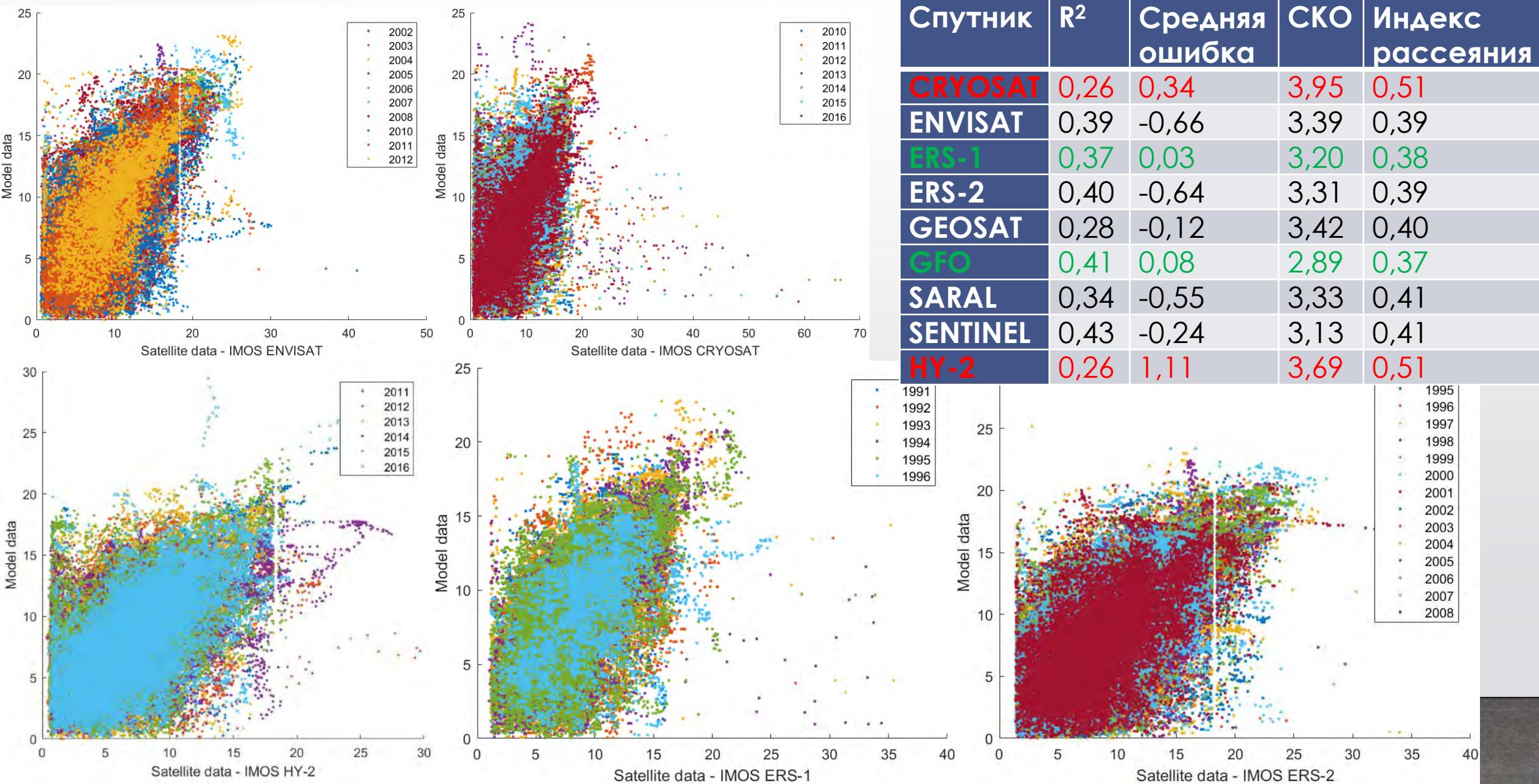
Platonov, V. and Shestakova, A.
Downslope windstorms and associated extreme wind speed statistics evaluation according to the COSMO-CLM Russian Arctic hindcast, ASR reanalysis and observations,
EMS2021-300,
<https://doi.org/10.5194/ems2021-300>, 2021.

Воспроизведение подветренных бурь по COSMO-CLM и ASRv2



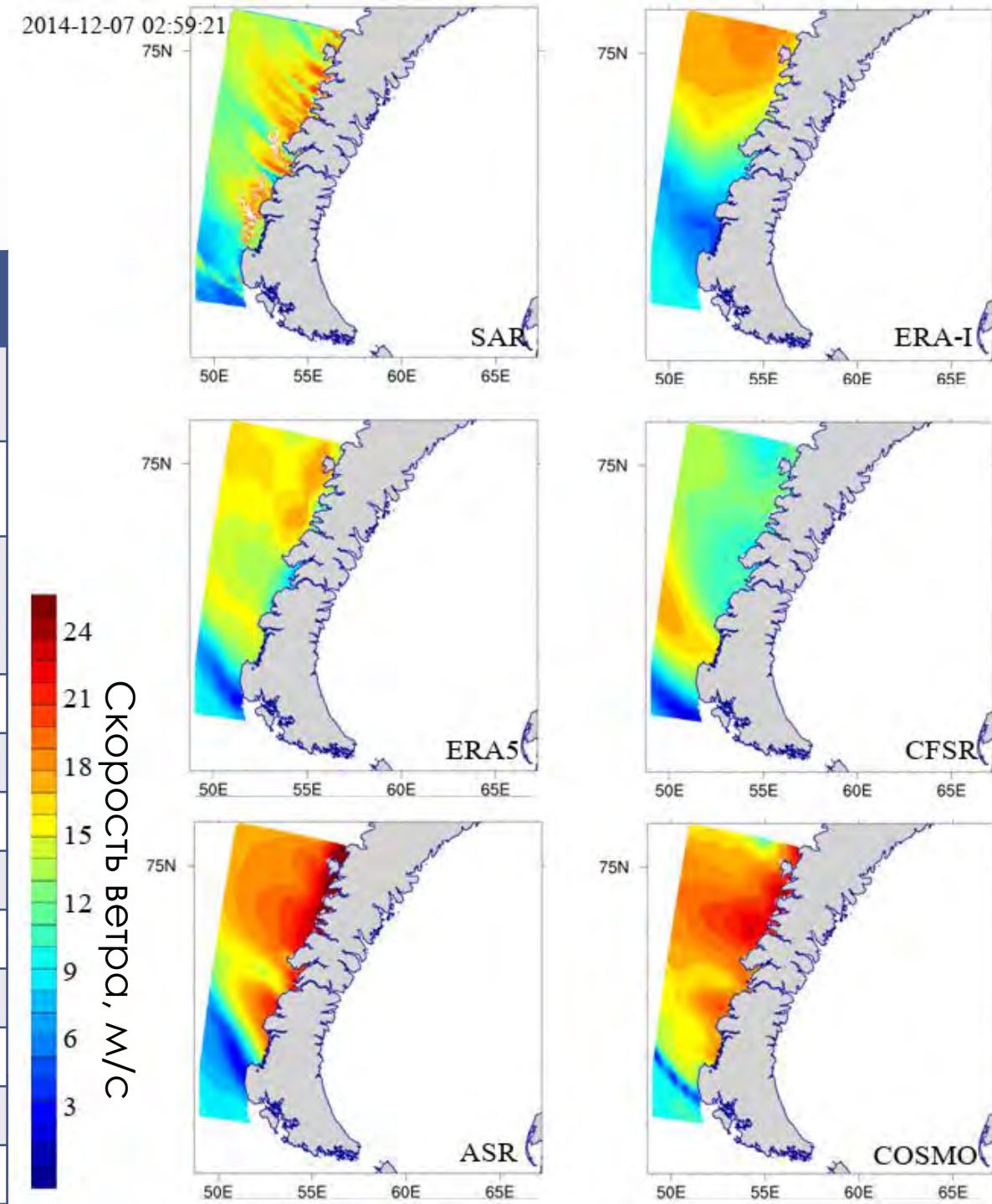
Повторяемость (%) скорости ветра на 10 м (м/с) для **случаев подветренных бурь** в Ню-Олесунне (слева, вверху) и Малых Кармакулах (слева, внизу). **Диаграмма Тейлора** (справа) для этих случаев по COSMO-CLM и ASR относительно наблюдений на **6 станциях**.

Сравнение с альтиметрами



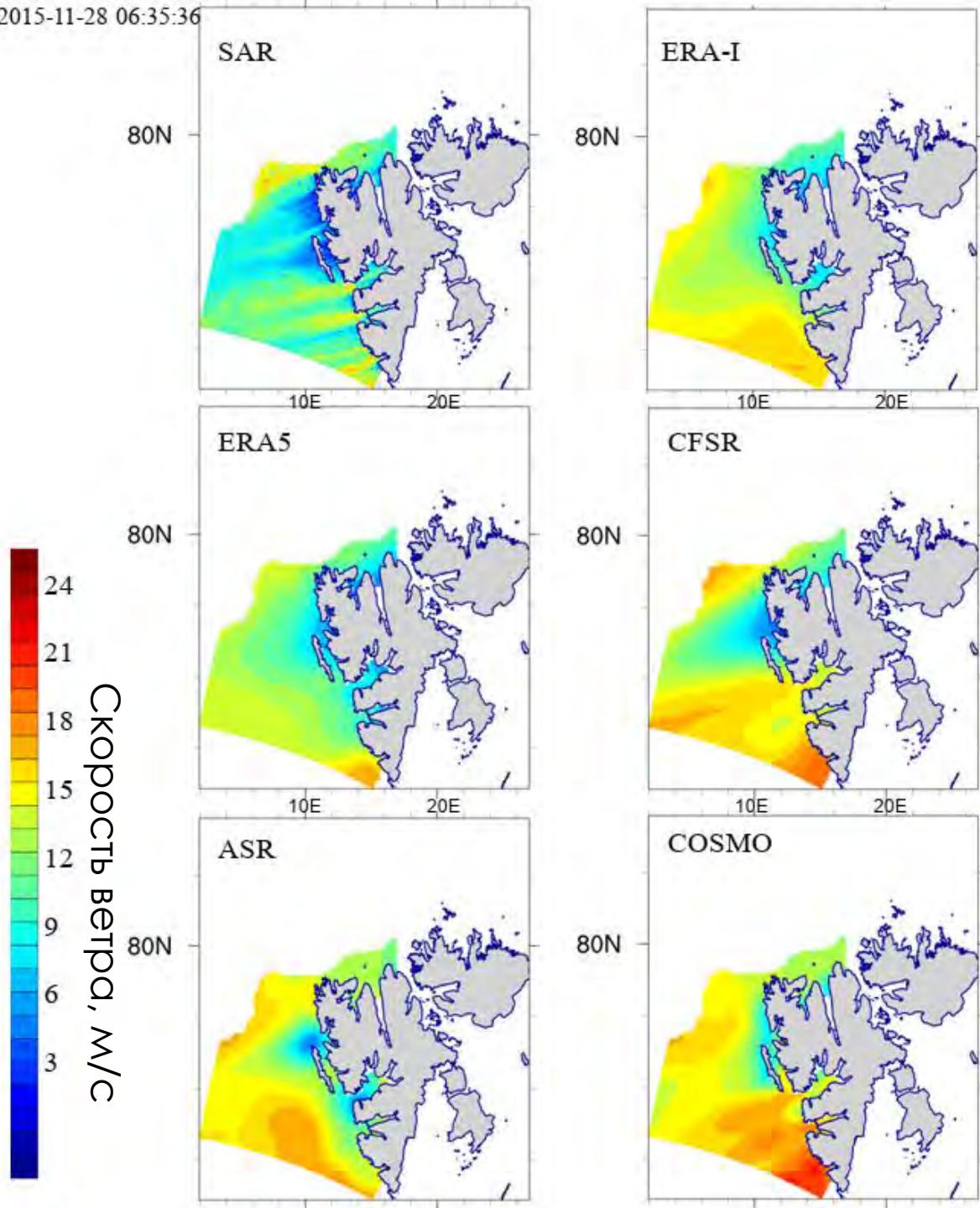
Случаи подветренных бурь по данным SAR Radarsat-2 (07.12.2014)

	ERA-I	ERA5	CFSR	ASR	COSMO-CLM
Ошибка средней скорости ветра	-0,70	0,40	-1,00	2,20	3,70
Ошибка минимальной скорости ветра	2,80	-0,80	-1,40	-0,70	0,00
Ошибка максимальной скорости ветра	-2,80	-3,20	-4,00	6,60	2,50
Ошибка амплитуды	-5,60	-2,40	-2,60	7,30	2,50
Ошибка по 95%	-0,40	-1,60	-1,70	3,90	3,30
Ошибка по 99%	-2,00	-3,10	-3,10	5,40	2,20
Ошибка по 99.9%	-2,80	-3,70	-4,00	6,20	2,30
R	0,39	0,68	0,29	0,72	0,74
S	1,71	1,61	1,42	1,43	1,58
A	-0,05	0,03	-0,08	0,15	0,25
L	0,54	0,43	0,61	0,37	0,36
dN	-17,00	-16,00	-17,00	-12,00	-16,00



Случаи подветренных бурь по данным SAR Radarsat-2 (28.11.2015)

	ERA-I	ERA5	CFSR	ASR	COSMO-CLM
Ошибка средней скорости ветра	3,50	2,10	3,90	4,10	5,10
Ошибка минимальной скорости ветра	6,70	3,90	4,50	4,40	8,00
Ошибка максимальной скорости ветра	-8,80	-7,80	-6,40	-7,40	-4,30
Ошибка амплитуды	-15,50	-11,70	-10,90	-11,80	-12,30
Ошибка по 95%	1,70	1,40	3,70	2,50	5,00
Ошибка по 99%	0,30	1,10	2,60	1,20	4,30
Ошибка по 99.9%	-1,50	-0,60	0,90	-0,30	2,80
R	0,42	0,51	0,63	0,33	0,51
S	1,33	0,63	0,94	1,22	0,80
A	0,34	0,24	0,37	0,38	0,44
L	0,66	0,53	0,47	0,64	0,45
dN	-7,00	-6,00	-4,00	-5,00	-5,00



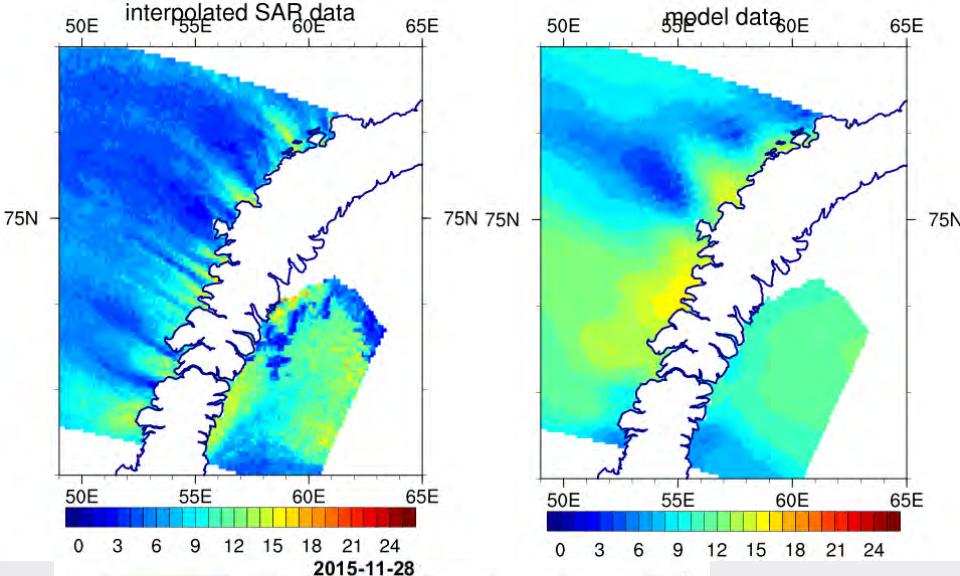
Сравнение с радарами SAR Radarsat-2

Дата	Средняя ошибка	СКО	Коэффициент корреляции	Разность квантилей 95%	Разность квантилей 99%	Разность квантилей 99,9%
06.08.2014	-0,1	2,7	0,2	-0,7	-5,3	-9,0
26.11.2014	2,3	4,0	-0,1	-0,2	-5,4	-9,4
02.12.2014	0,3	3,4	0,3	-2,0	-7,0	-8,3
06.12.2014	-2,4	3,7	0,3	-4,0	-4,2	-4,5
07.12.2014	2,3	3,9	0,6	2,8	1,7	1,1
18.12.2014	2,0	3,9	-0,3	1,3	-4,3	-9,1
23.02.2015	-6,7	7,8	0,0	-7,0	-7,5	-8,3
30.04.2015	-1,7	3,3	0,5	-4,3	-7,2	-12,8
03.05.2015	0,3	3,2	-0,1	3,3	-0,4	-7,1
04.05.2015	2,3	4,9	-0,2	2,8	1,3	-1,3
11.05.2015	2,2	3,2	0,0	-1,0	-4,3	-9,2
28.11.2015	2,9	4,3	0,4	1,1	0,8	-1,8
29.11.2015	0,4	3,7	0,2	-3,3	-8,2	-9,3
01.12.2015	1,5	3,4	0,4	-1,6	-3,7	-6,2
01.12.2015	2,3	3,5	0,5	2,1	-0,1	-4,8
05.12.2015	2,3	4,3	-0,3	0,3	-0,2	-2,4
19.12.2015	5,2	6,0	0,6	6,3	4,6	1,5
01.02.2016	-2,9	4,2	0,0	-1,9	-2,0	-2,9
04.02.2016	2,6	4,2	-0,4	-0,8	-1,3	-1,9
Средние	0,8	4,1	0,1	-0,4	-2,8	-5,6

ПРОВОДИЛСЯ ИНТЕРПОЛАЦИЯ НА ЕДИНУЮ СЕТКУ ШАГОМ 10 КМ.

0 3 6 9 12 15 18 21 24 0 3 6 9 12 15 18 21 24

Сравнение с радарами SAR Radarsat-2

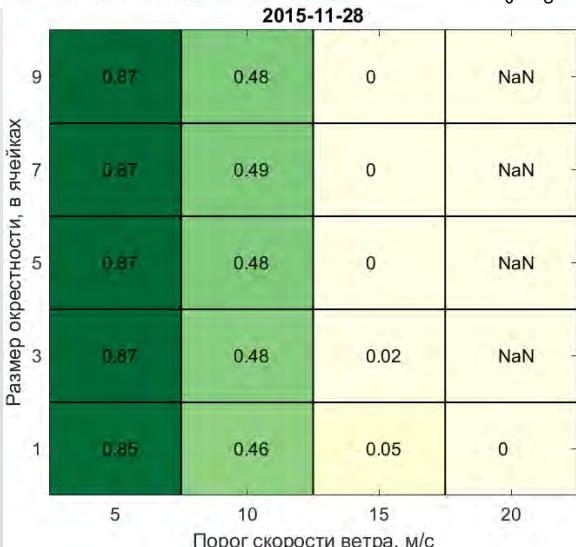
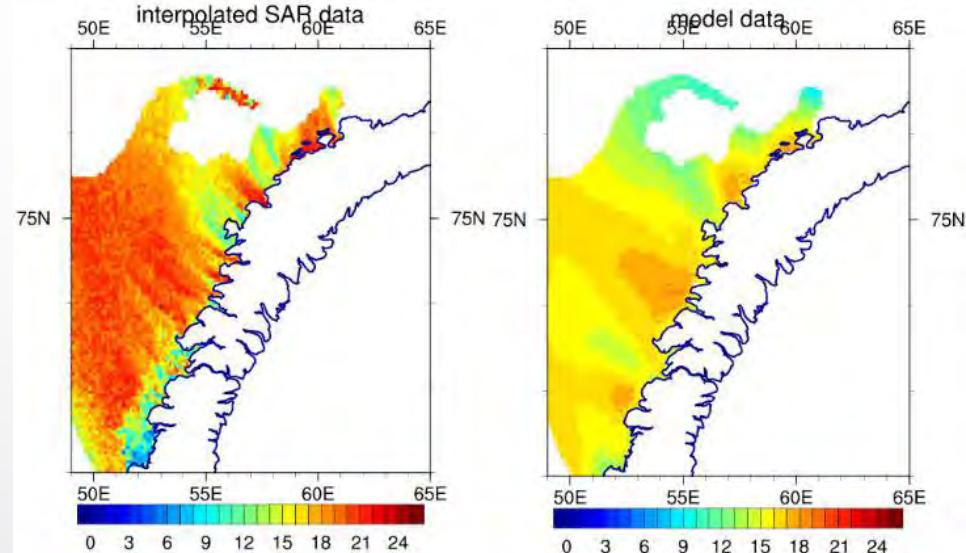


28.11.2015

06.12.2014

Размеры окрестностей:

- 1 точка ≈ 5 км
- 3 точки ≈ 15 км
- 5 точек ≈ 25 км
- 7 точек ≈ 35 км
- 9 точек ≈ 45 км

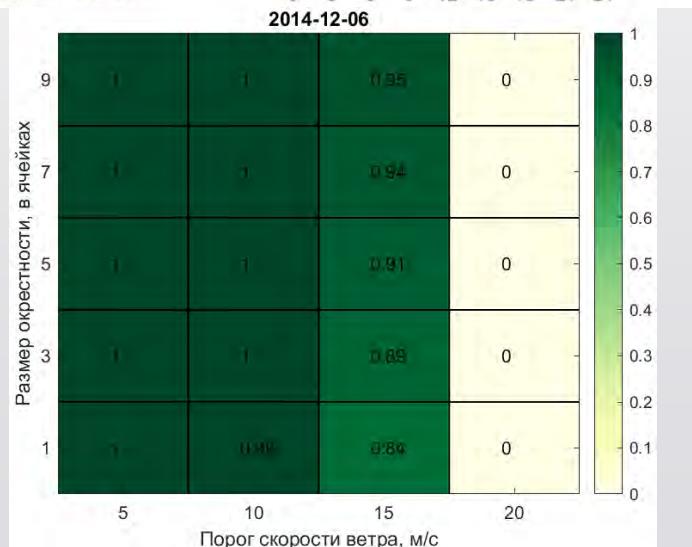


5 м/с: для всех случаев хотя бы на одной окрестности $FSS > 0.5$;

10 м/с: FSS растёт с увеличением размера для **7 случаев**. Для **6 случаев** оптимальный размер ~ 45 км. Для 06.12.2014 – ~ 25 км;

15 м/с: FSS растет с увеличением размера в **2 случаях** (в т.ч. 06.12.2014), $FSS > 0.62$;

20 м/с: $FSS = 0.12$ для **1 случая**.

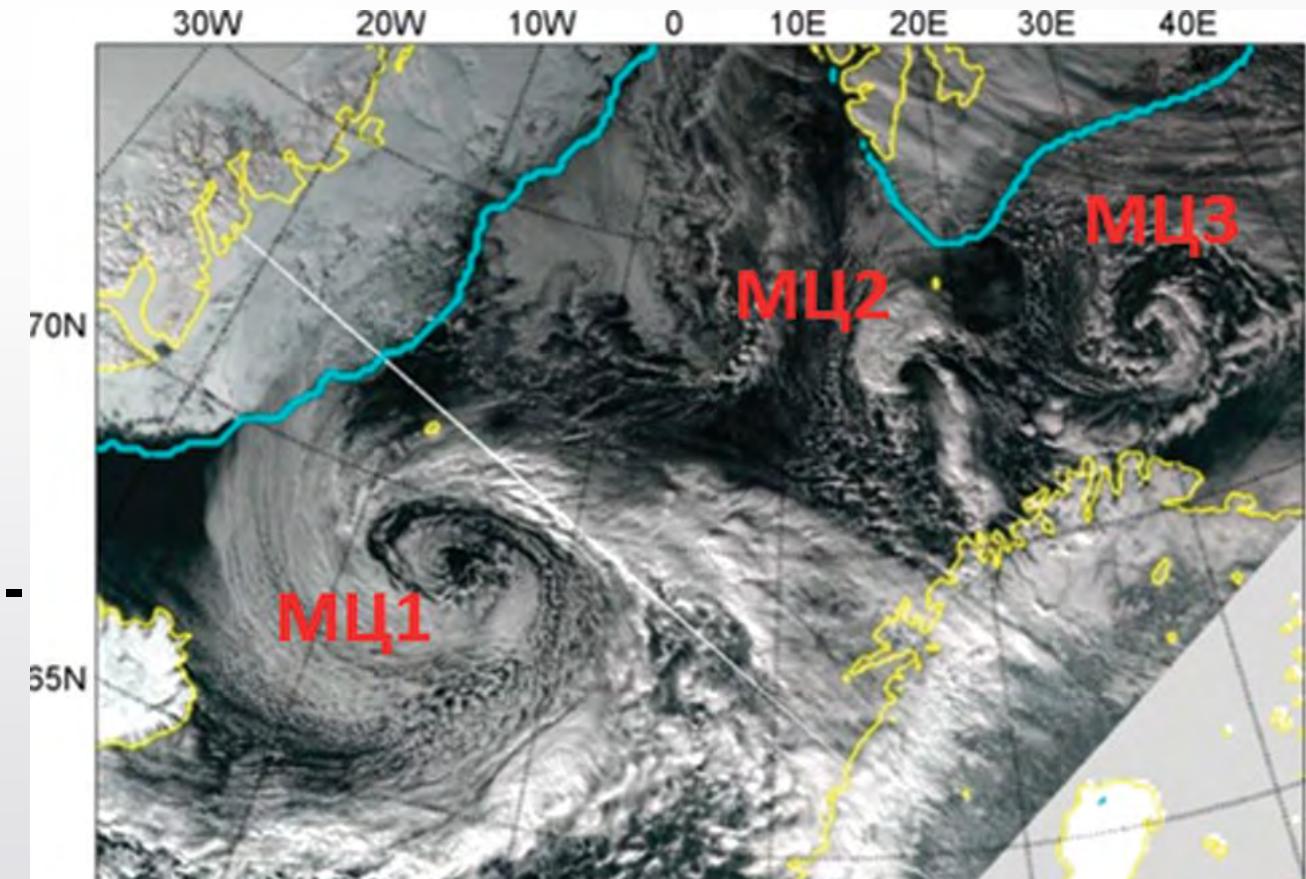
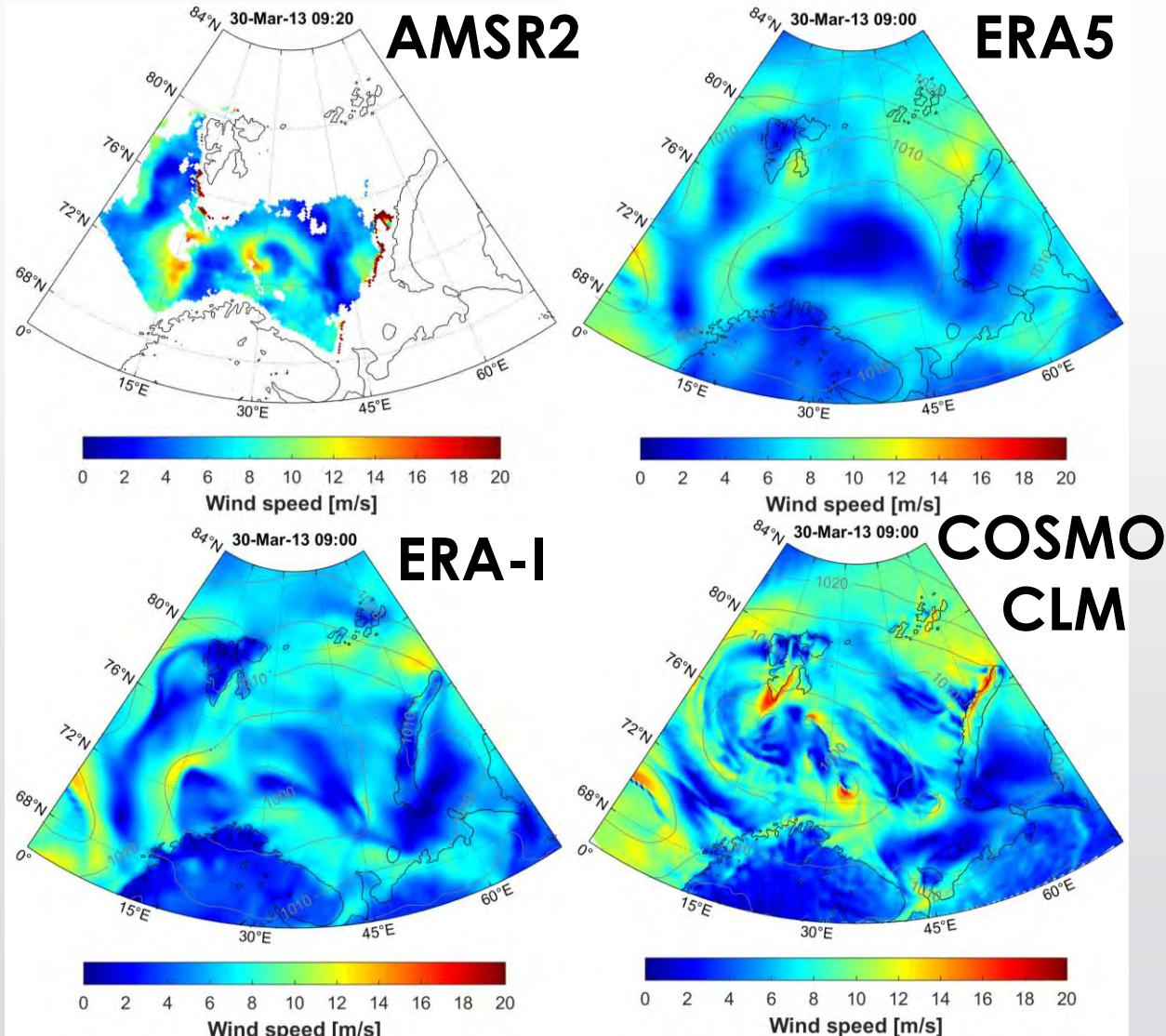


Значения FSS для различных пороговых значений скорости ветра и размеров окрестности, в ячейках, 28.11.2015



Значения FSS для различных пороговых значений скорости ветра и размеров окрестности, в ячейках, 06.12.2014

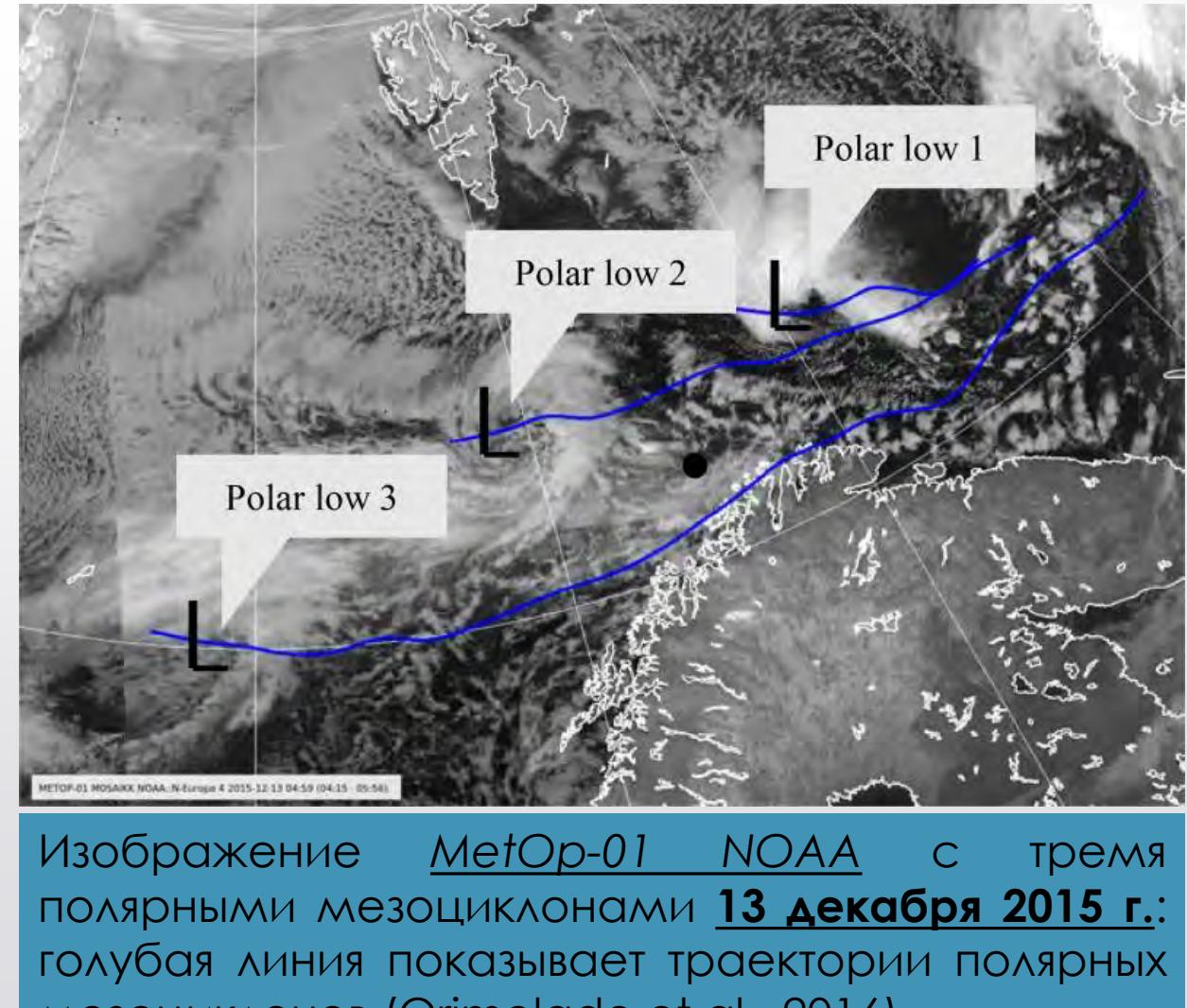
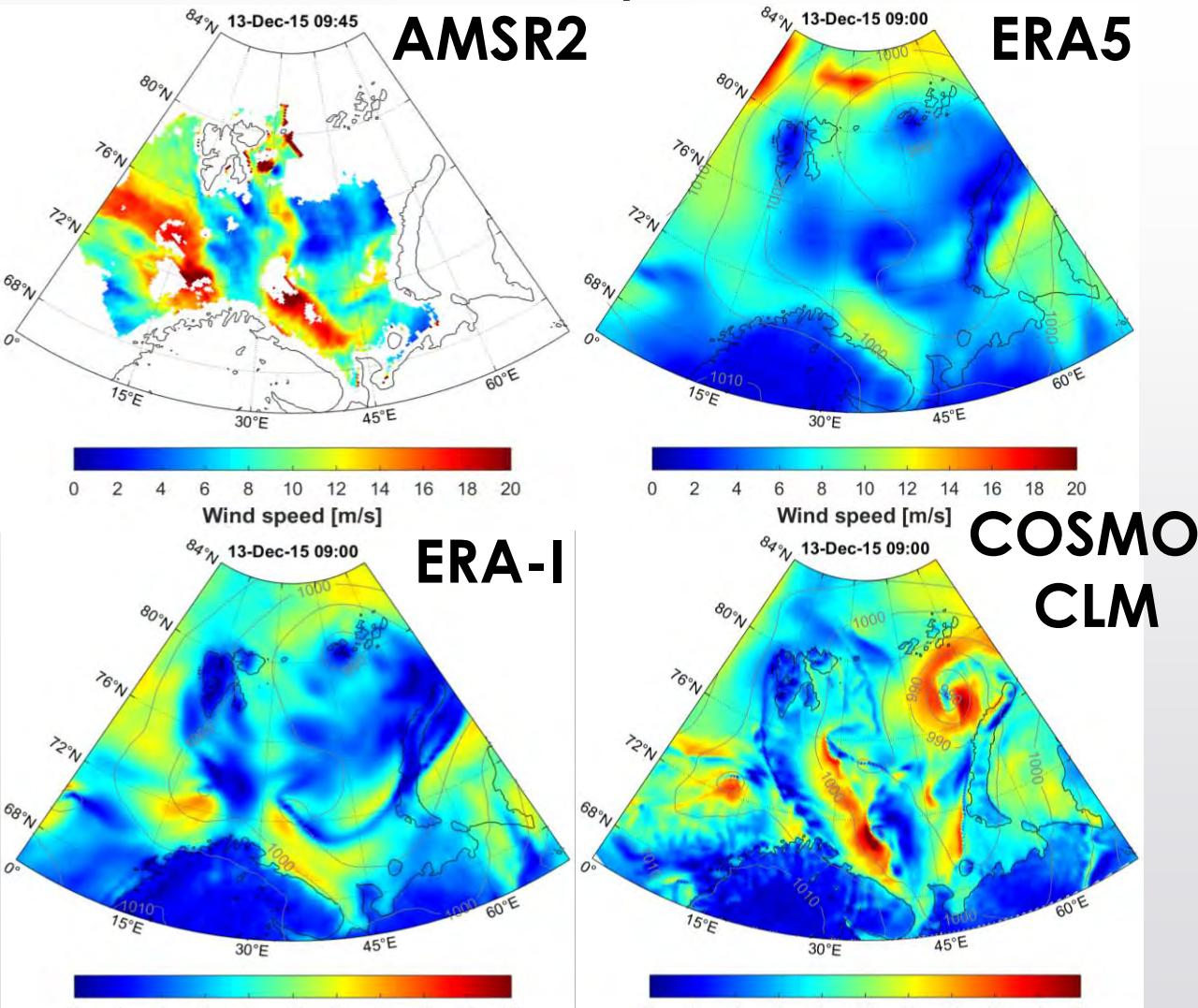
Оценка полярных мезоциклонов (скорость ветра)



Изображение MODIS с тремя полярными мезоциклонами **30 марта 2013 г.**: голубая линия показывает границу морского льда по ERA-Interim (Varentsov et al., 2016).

Случай полярного мезоциклона **30.03.2013**. Скорость ветра на 10 м по: AMSR2 (слева вверху), ERAI (слева внизу), ERA5 (справа вверху), CCLM hindcast (справа внизу)

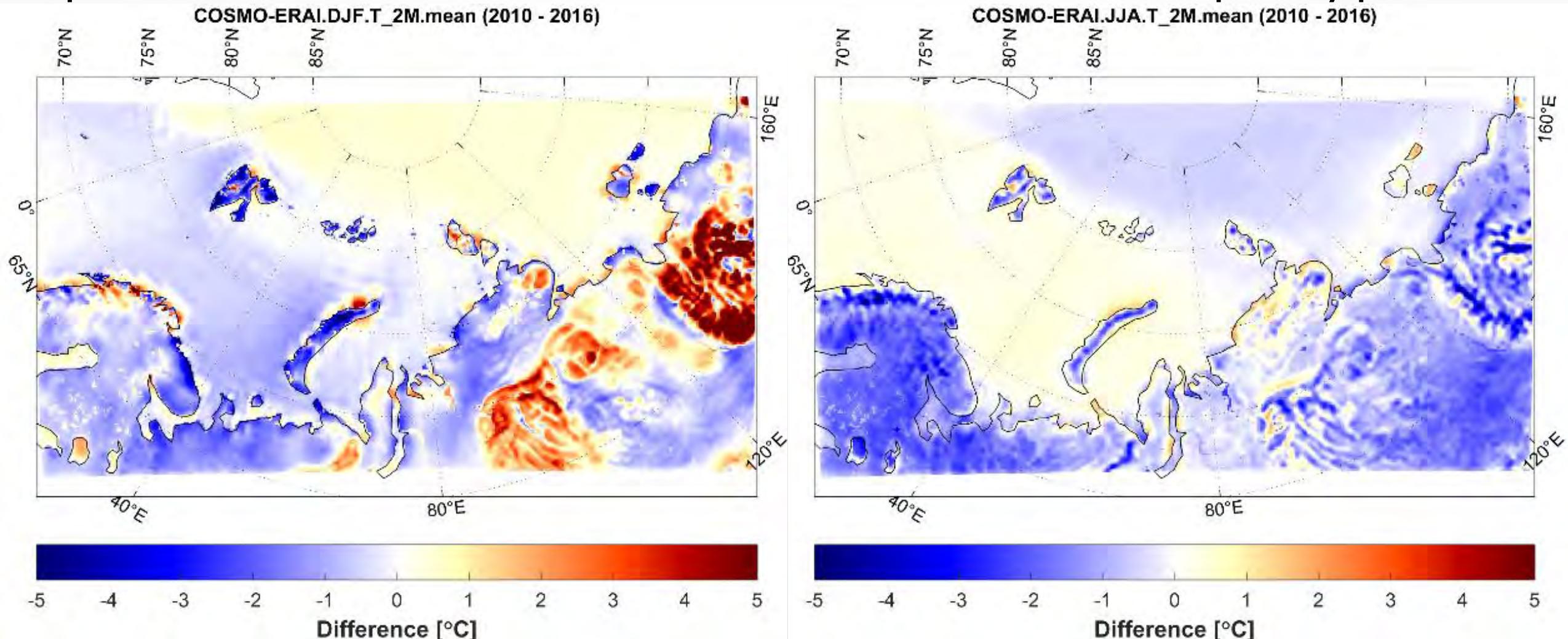
Оценка полярных мезоциклонов (скорость ветра)



Изображение MetOp-01 NOAA с тремя полярными мезоциклонами 13 декабря 2015 г.: голубая линия показывает траектории полярных мезоциклонов (Ormelago et al. 2016).

Vladimir Platonov and Mikhail Varentsov. Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation. *Atmosphere*, 12(3):350; 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>

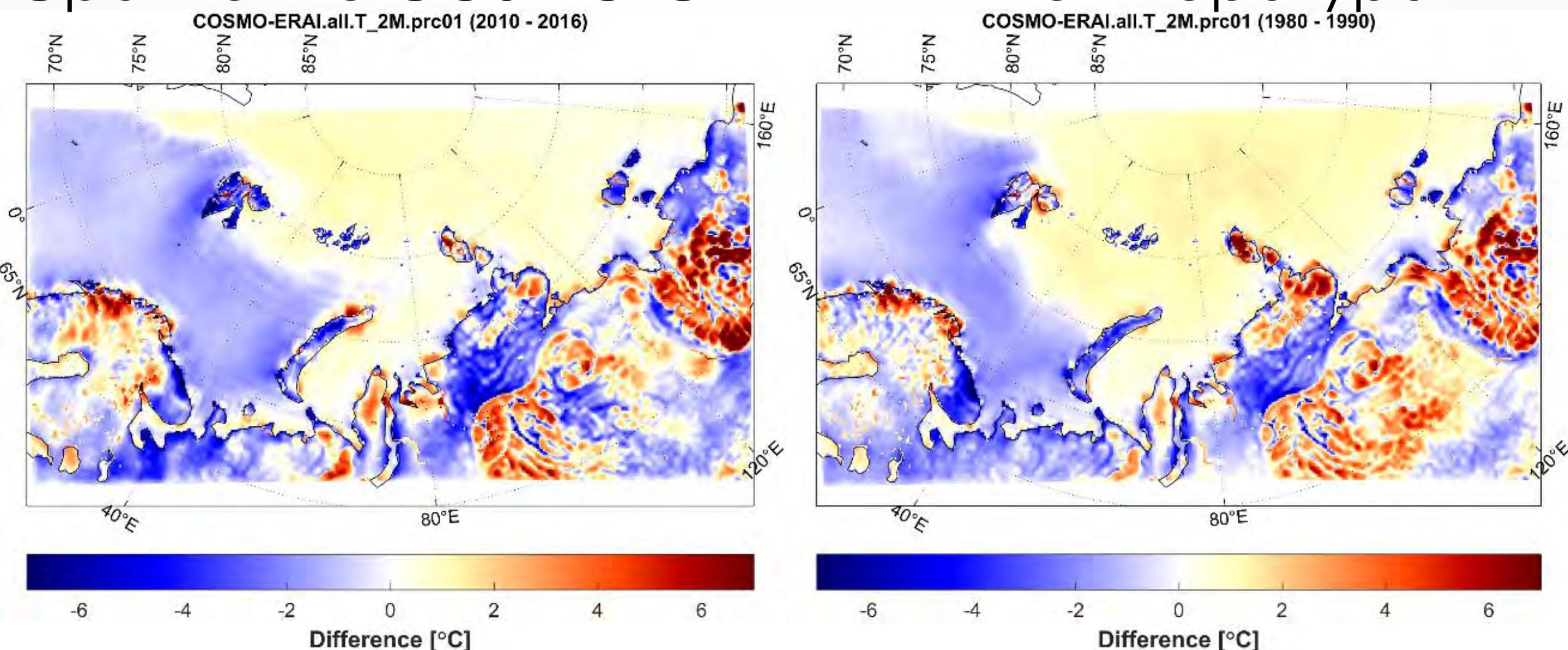
Сравнение COSMO-CLM и ERAI температура 2 м



Разности температуры воздуха на 2 м ($^{\circ}\text{C}$) “COSMO-CLM–ERA-Interim” за период 2010–2016 для зимнего (DJF, слева) и летнего (JJA, справа) сезонов.

V. Platonov and M. Varentsov. Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation. *Atmosphere*, 12(3): 350; 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>

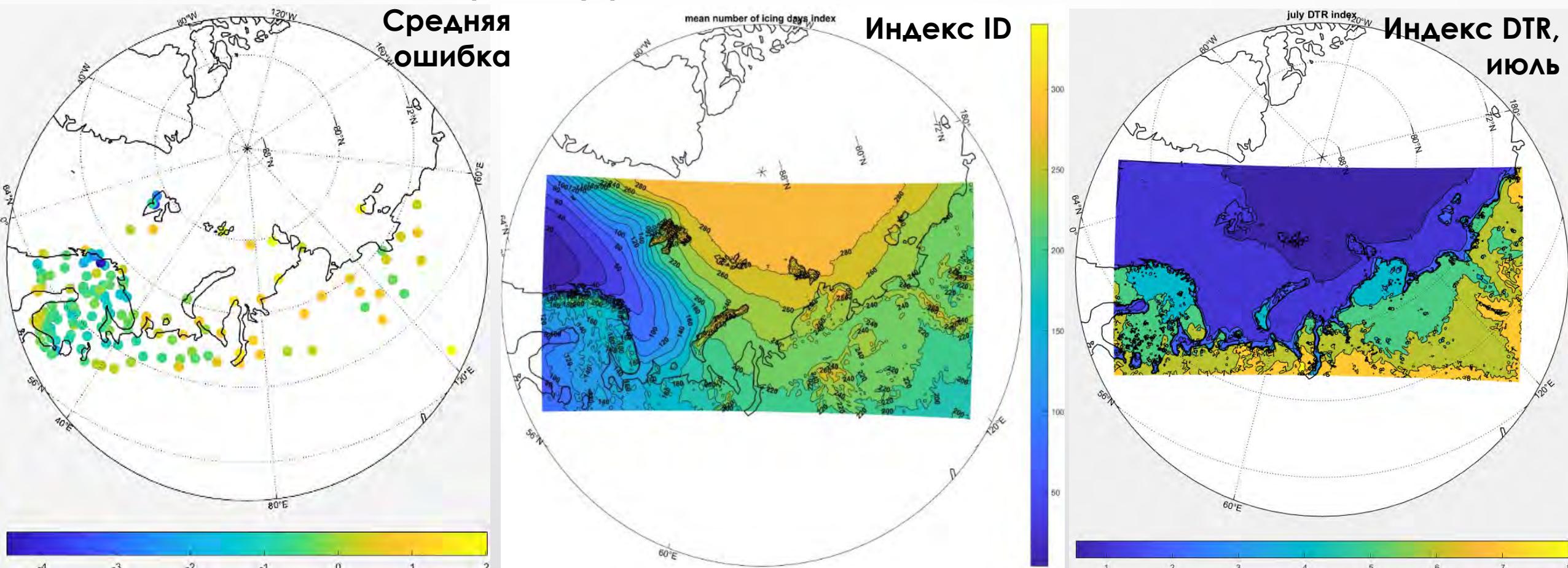
Сравнение COSMO-CLM и ERAI температура 2 м



Разности 1% процентилей температуры на 2 м “COSMO-CLM – ERA-Interim” (°C) для периодов 2010–2016 (слева) и 1980–1990 (справа).

V. Platonov and M. Varentsov. Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation. *Atmosphere*, 12(3): 350; 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>

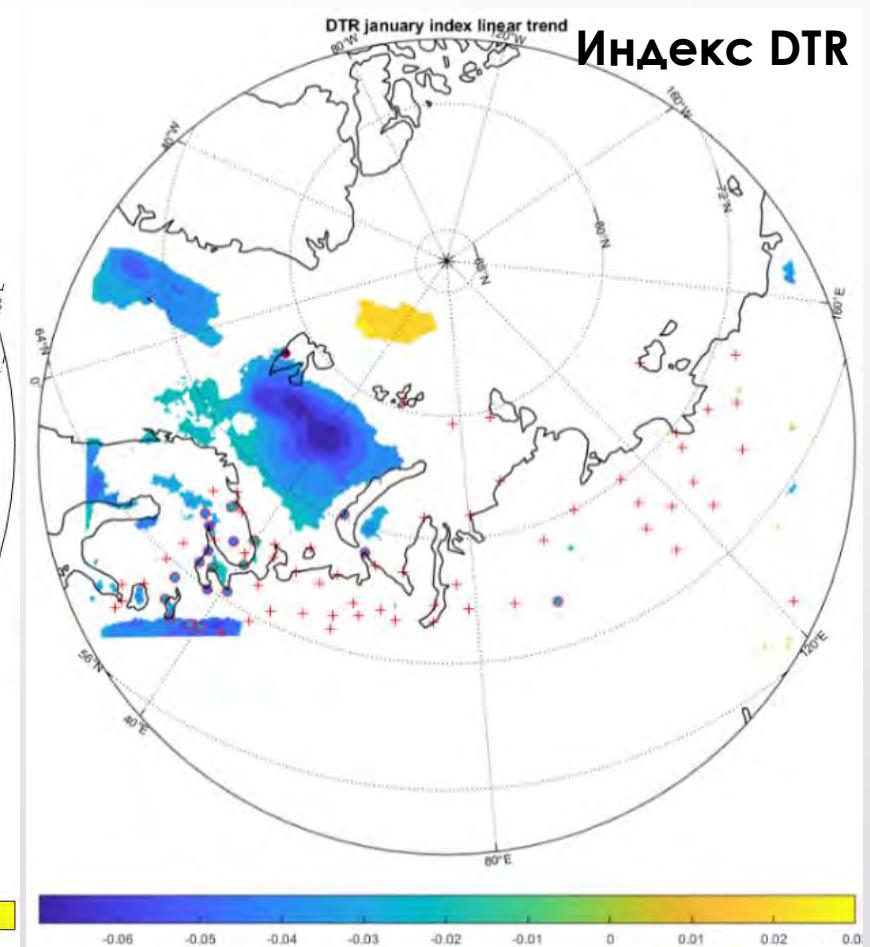
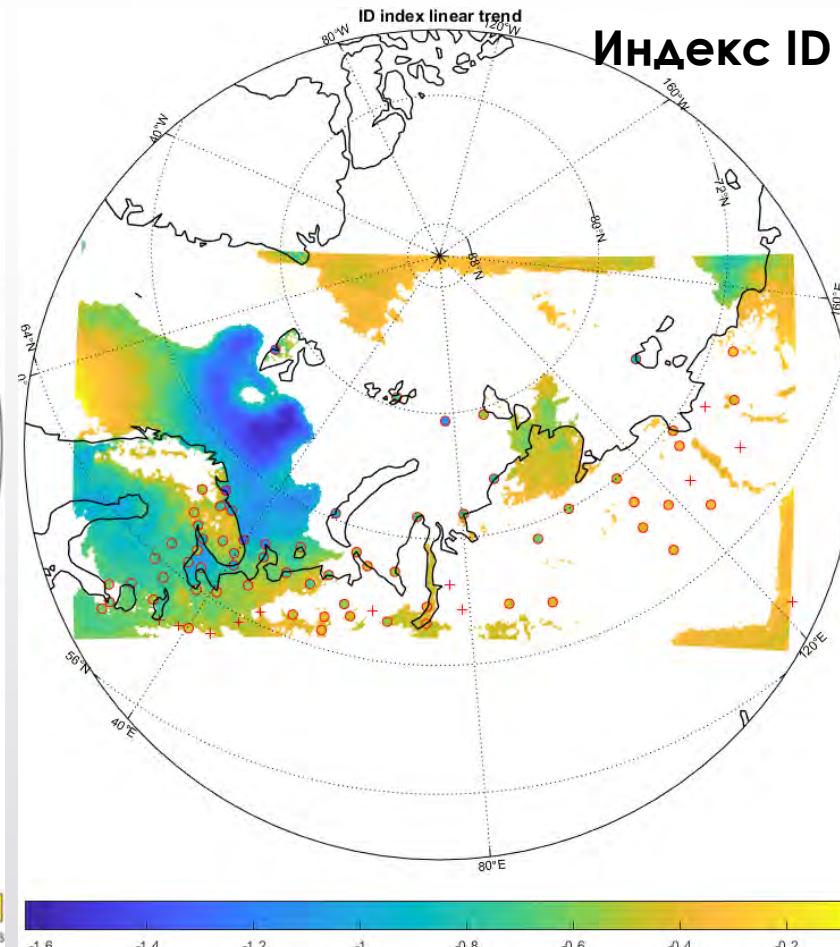
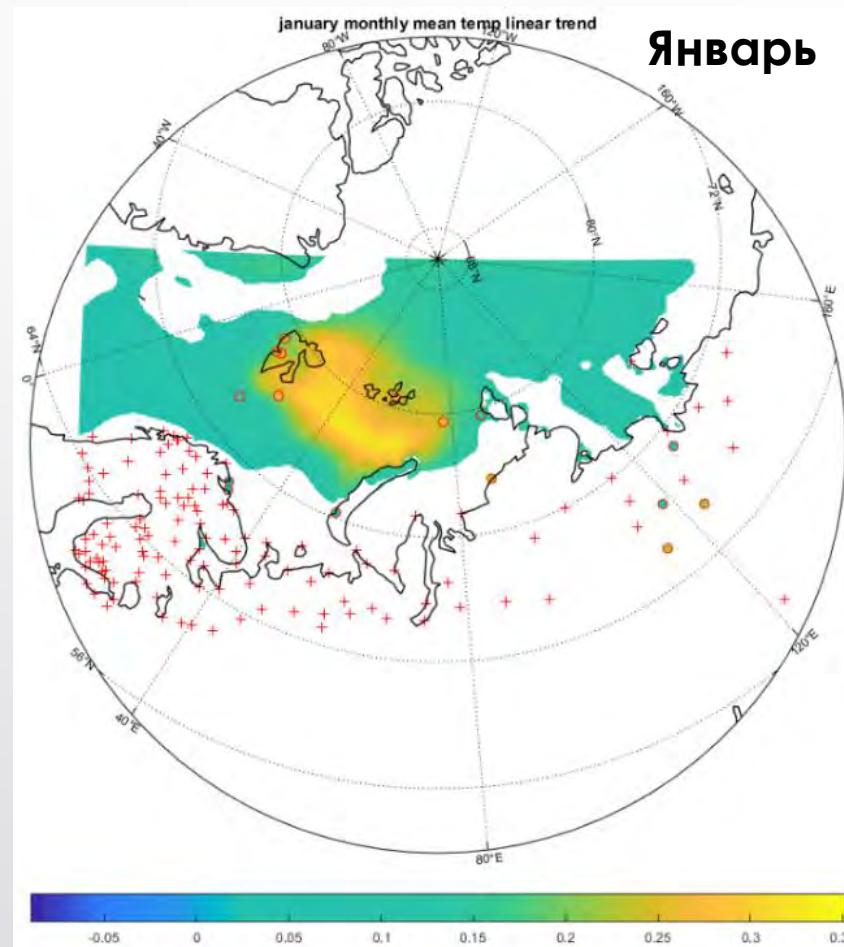
Оценки температуры и индексов по COSMO-CLM



Средние ошибки температуры 2 м COSMO-CLM по сравнению со станционными данными ($^{\circ}\text{C}$, слева); средний индекс ID (дни, в центре) и средний индекс DTR, июль ($^{\circ}\text{C}$, справа) по COSMO-CLM Russian Arctic hindcast за периоды 1980 – 2008 и 2010 – 2016.

S. Duntsev and V. Platonov. Quality assessment of surface temperature reproduction by a model archive, the COSMO-CLM Russian Arctic hindcast, based on station data. IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences, 1023(1):012007, 2022. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1023/1/012007>

Оценки трендов температуры и индексов по COSMO-CLM



Тренды: температуры на 2 м в январе ($^{\circ}\text{C}$ в год, слева); индекса ID (дней в году, в центре) и индекса DTR в январе ($^{\circ}\text{C}$ в год, справа) по COSMO-CLM Russian Arctic hindcast и станциям за периоды 1980 – 2008 и 2010 – 2016 гг. Показаны **только значимые тренды по COSMO-CLM**. Значимые тренды по станциям показаны красными кружками и цветом в той же шкале. Незначимые тренды по станциям показаны плюсами.

Выводы и дальнейшие планы работы

- ✓ **Повторяемость высоких скоростей ветра** по COSMO-CLM **возрастает** по сравнению с реанализом ERA-Interim.
- ✓ **Средние ошибки** воспроизведения **скорости ветра** COSMO-CLM по сравнению со станционными данными составляют +2 м/с, а для **95% процентилей** – до -5 м/с. Эти показатели в целом хуже, чем по ASRv2, включая **повторяемость экстремальных скоростей ветра**, что связано с усвоением данных в ASRv2.
- ✓ COSMO-CLM оказался лучше **ASRv2** по максимальной скорости ветра и максимальным процентилям по **SAR Radarsat-2** для случаев подветренных бурь.
- ✓ Сопоставление **COSMO-CLM** с данными альтиметров для **района о. Новая Земля** показало наилучшее соответствие для спутников **GFO** и **ERS-1** (СКО = 2,9 м/с и 3,2 м/с), наихудшее – для **CRYOSAT** и **HY-2** (СКО = 4 м/с и 3,7 м/с).
- ✓ **Пространственный анализ** воспроизведения ситуаций сильных скоростей ветра **в районе о. Новая Земля** методом **FSS** по спутниковым радарам SAR показал, что COSMO-CLM с шагом сетки ~12 км успешно воспроизводит структуру поля ветра **более 5 и 10 м/с (β-масштаб)**. Однако, шага сетки **не достаточно** для воспроизведения более сильных скоростей ветра, **превышающих 15 и 20 м/с (γ-масштаб)**.

Выводы и дальнейшие планы работы

- ✓ **COSMO-CLM** показал значительную детализацию средних и экстремально низких температур по сравнению с реанализом **ERA-I** ('added value'), однако **занижая** месячные приземные температуры в среднем на **1 °C** по сравнению со станциями.
- ✓ **Ошибки** воспроизведения **индексов ETCCDI** (**до 2...4 °C**) максимальны в горных районах, а также на некоторых островных станциях.
- ✓ **Тренды индексов ETCCDI** по COSMO-CLM демонстрируют **значимый рост** температуры и абсолютных минимумов, **уменьшение** среднемесячной суточной амплитуды **в январе**, хорошо согласуясь с данными наблюдений.

Дальнейшие планы:

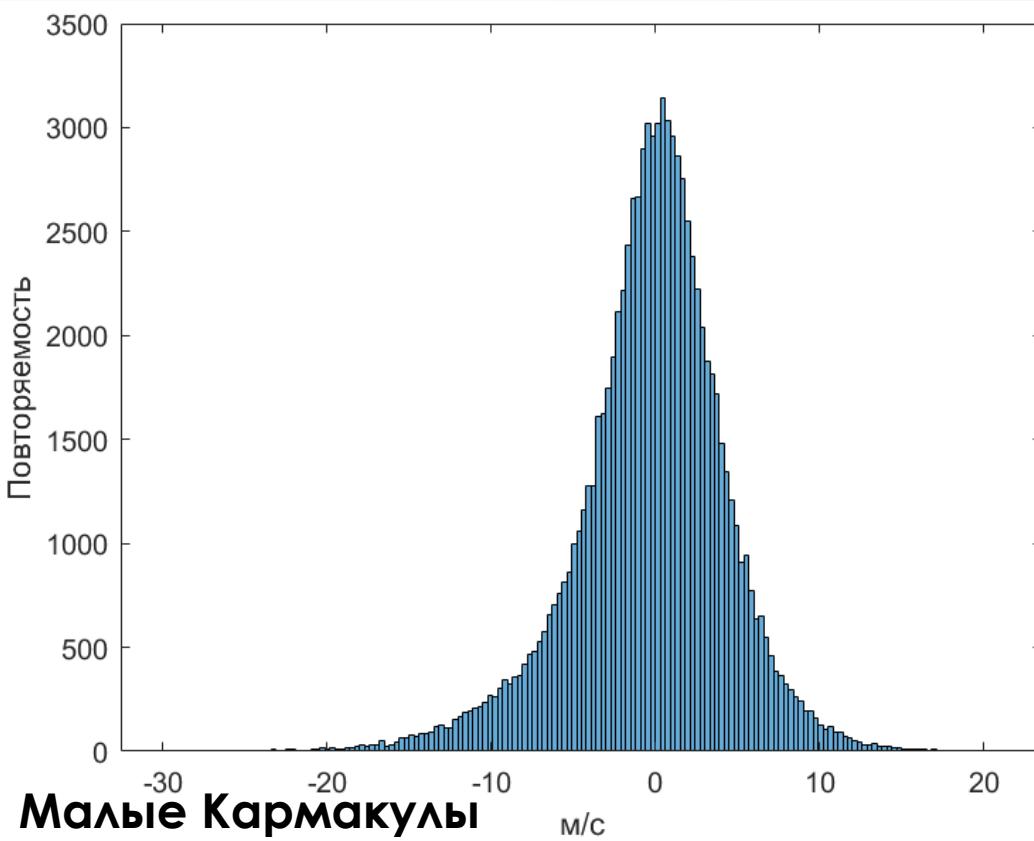
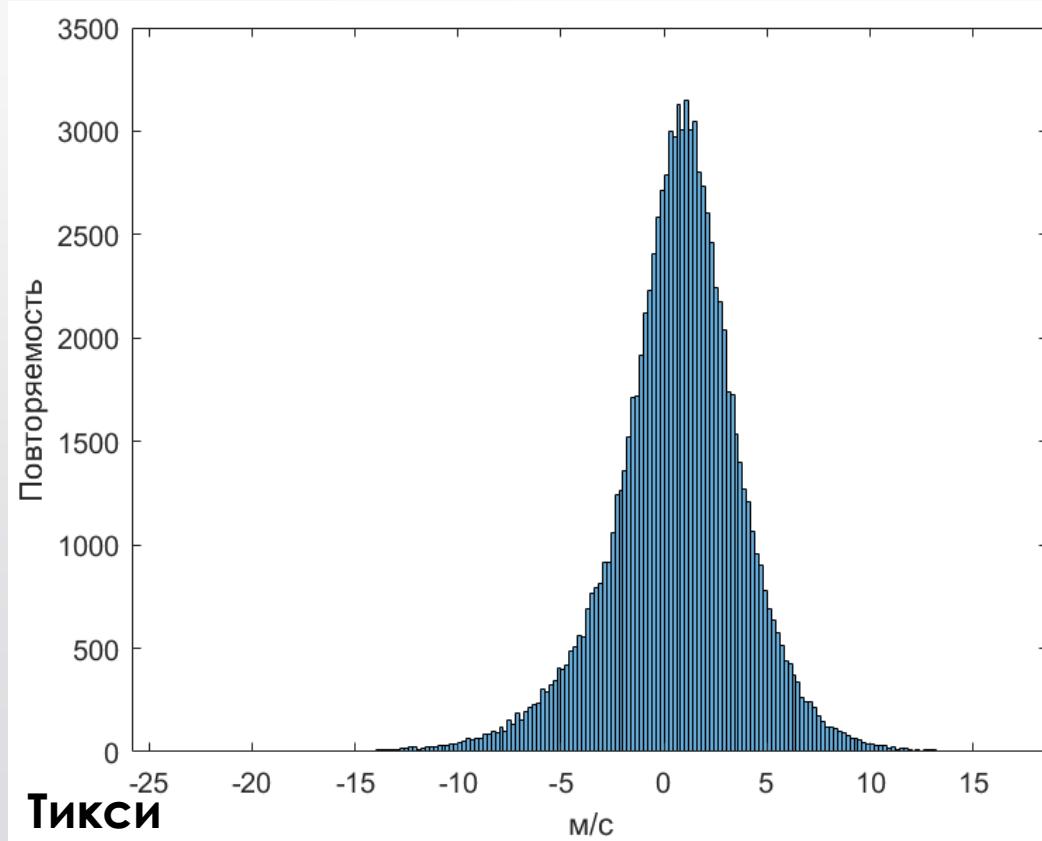
- **Продление** модельного архива до **2019 г.**, больше данных в открытом доступе;
- Анализ случаев и климатологии **подветренных бурь, полярных мезоциклонов** (в том числе их трекинг и исследование физических механизмов) на спутниковых данных по всей модельной области (QuikSCAT, ASCAT и др.);
- Сравнение **климатологии и трендов** с **другими массивами данных (ERA5, CARRA, ASR и др.)** для **ветра** и других гидрометеорологических величин;
- Проведение экспериментов на вложенных сетках с более высоким разрешением, в том числе совместно с моделями океана и волнения; и др.

Дополнительные слайды

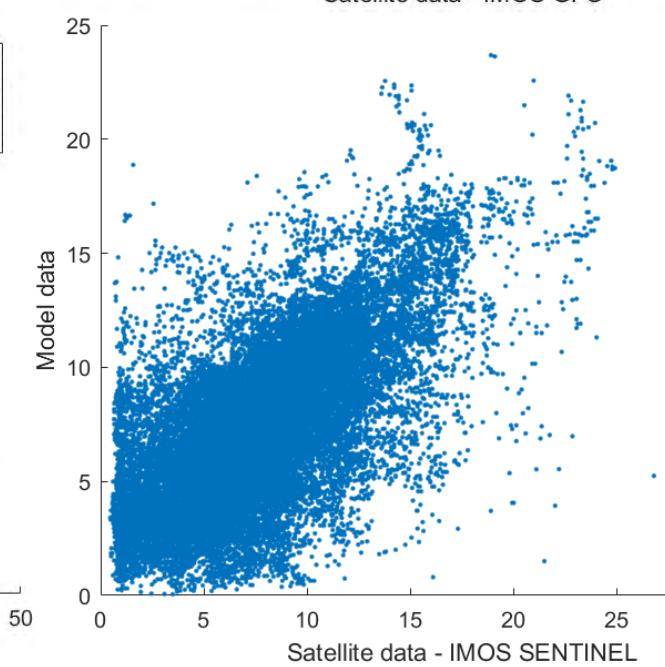
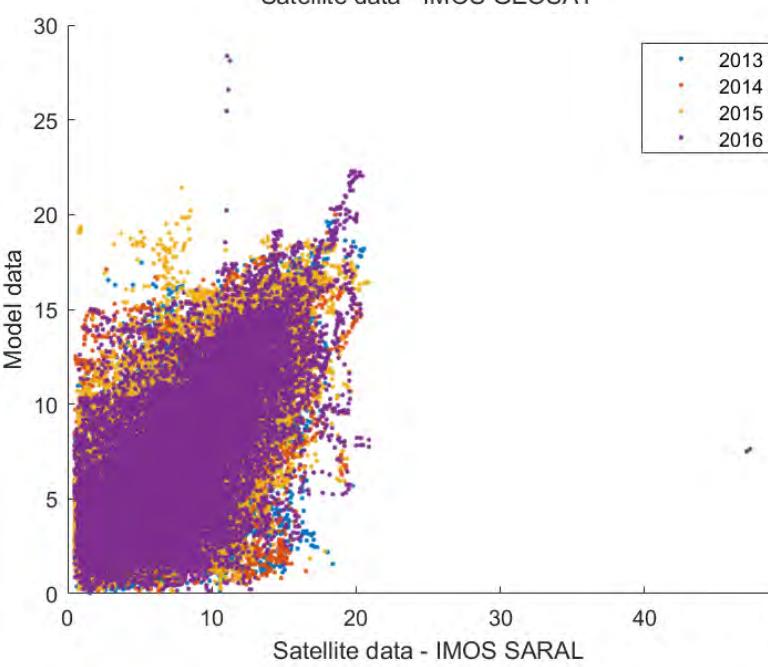
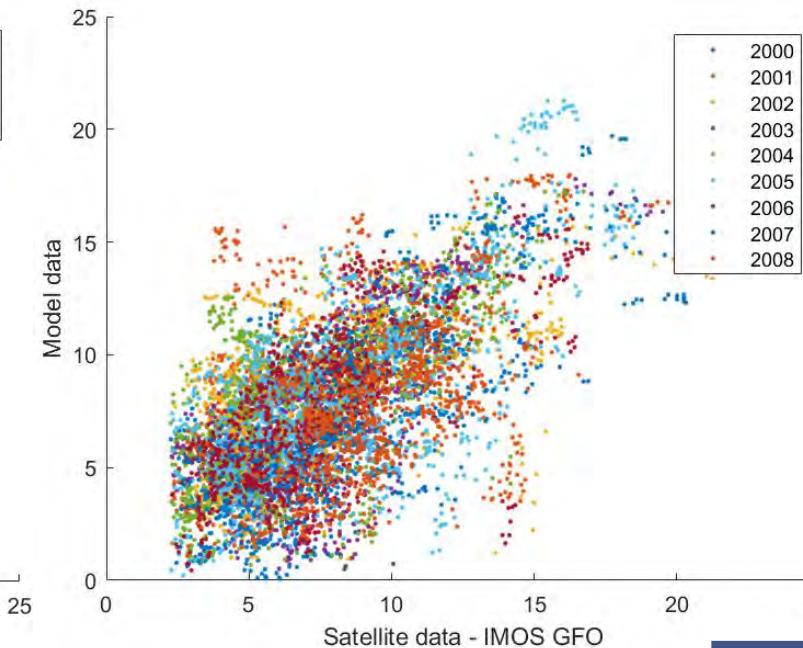
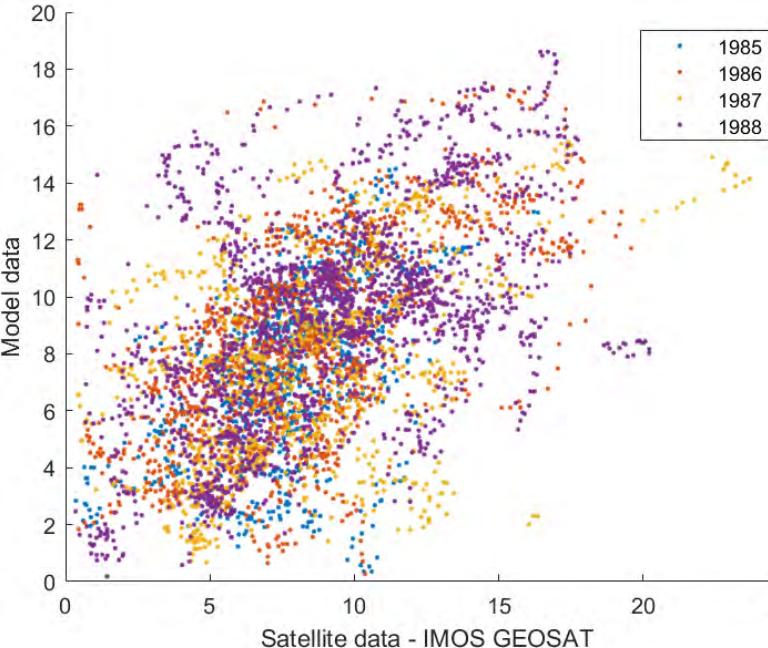
Статистика 'added values'

Переменная, период	Средняя разность, вся область	Средняя разность, континентальные узлы	Средняя разность, морские узлы	1% процентиль разности, вся область	99% процентиль разности, вся область
VEL_10M, 1980–1990	0.13	0.34	-0.14	-1.63	2.22
VEL_10M, 2010–2016	0.14	0.37	-0.13	-1.63	2.19
VEL_10M, 1980–1990 (DJF)	0.03	0.37	-0.38	-2.25	2.47
VEL_10M, 2010–2016 (DJF)	0.06	0.42	-0.38	-2.14	2.47
VEL_10M, 1980–1990 (JJA)	0.23	0.24	0.23	-1.06	2.15
VEL_10M, 2010–2016 (JJA)	0.25	0.24	0.26	-1.12	2.14
T_2M, 1980–1990	-0.03	0.10	-0.19	-1.67	1.72
T_2M, 2010–2016	-0.24	0.01	-0.56	-1.87	1.39
T_2M, 1980–1990 (DJF)	0.30	0.16	0.48	-2.18	4.81
T_2M, 2010–2016 (DJF)	0.04	0.08	0.00	-2.51	4.85
T_2M, 1980–1990 (JJA)	-0.37	-0.05	-0.76	-2.70	1.31
T_2M, 2010–2016 (JJA)	-0.42	-0.07	-0.85	-2.61	1.14

Гистограммы распределения ошибок

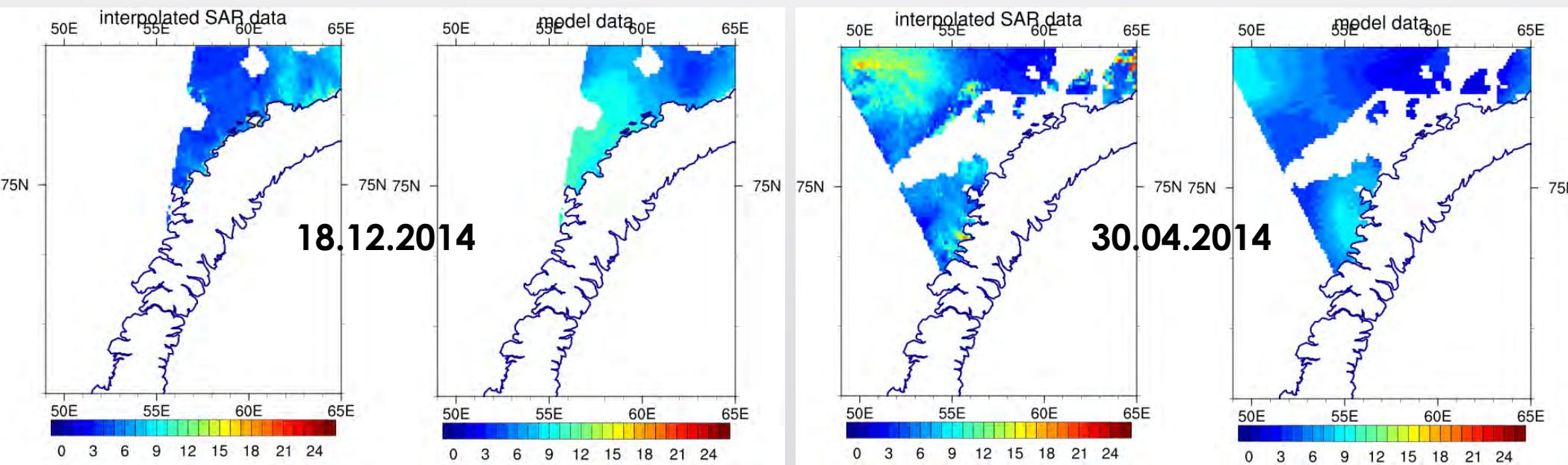
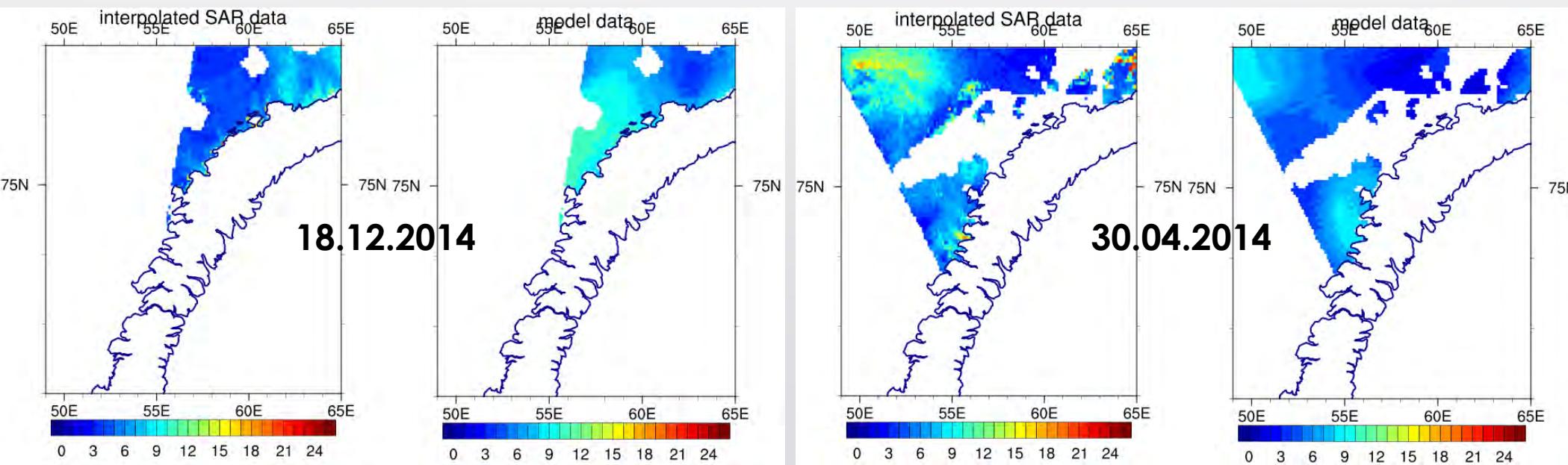
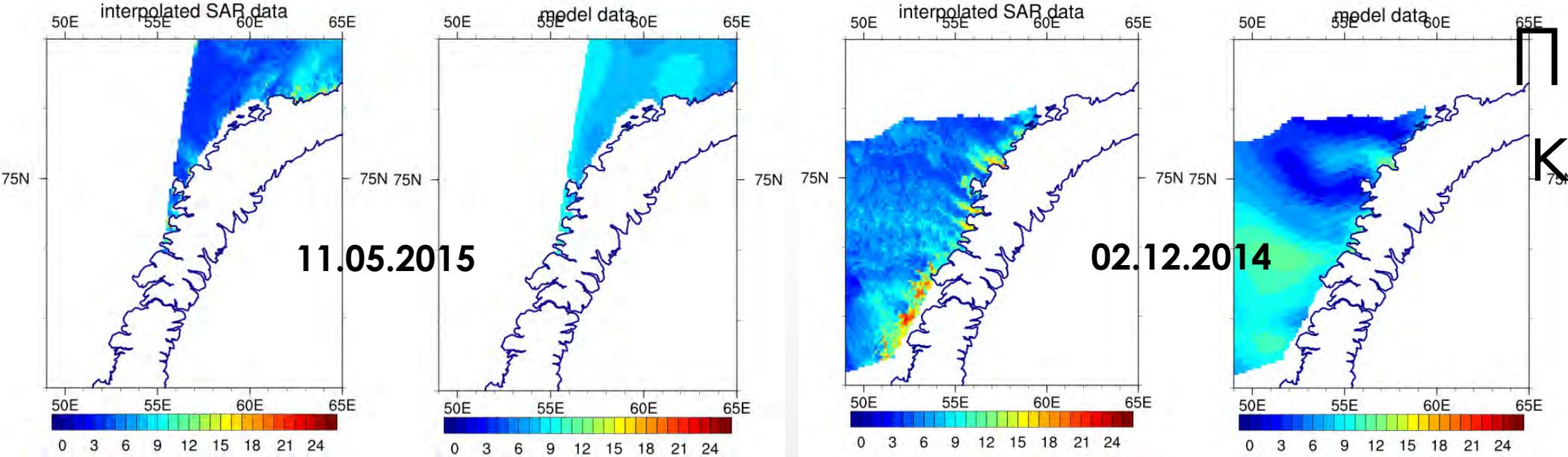


Сравнение с альтиметрами

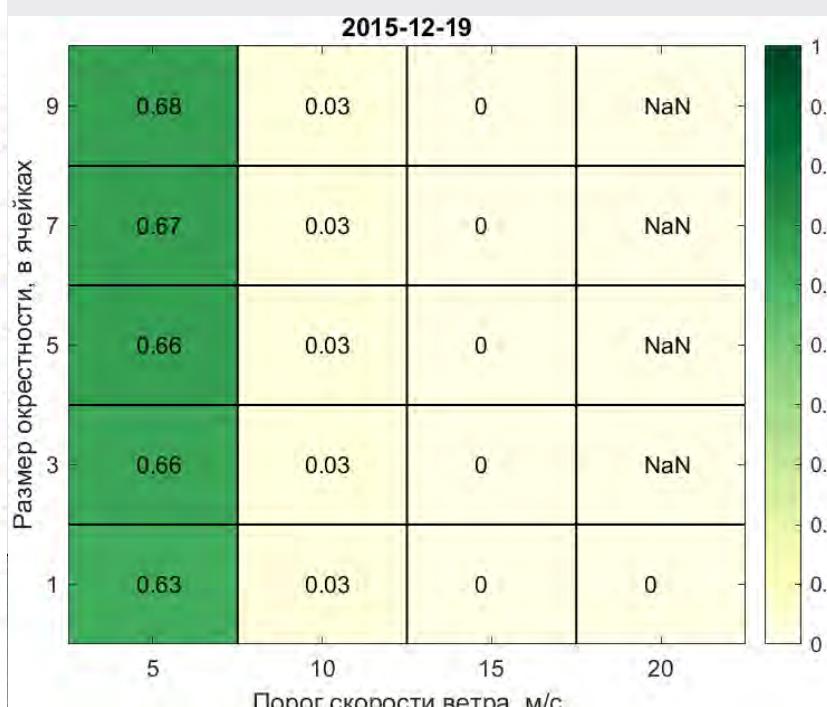
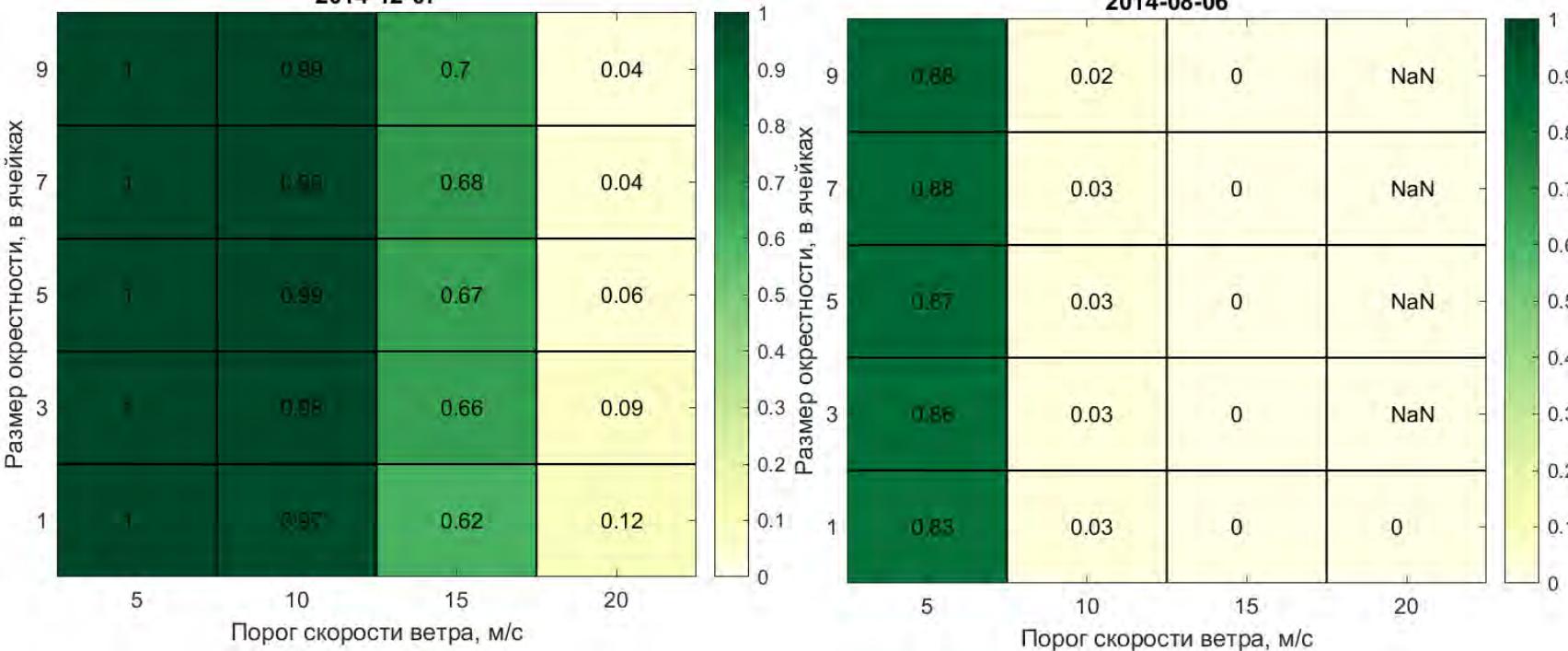
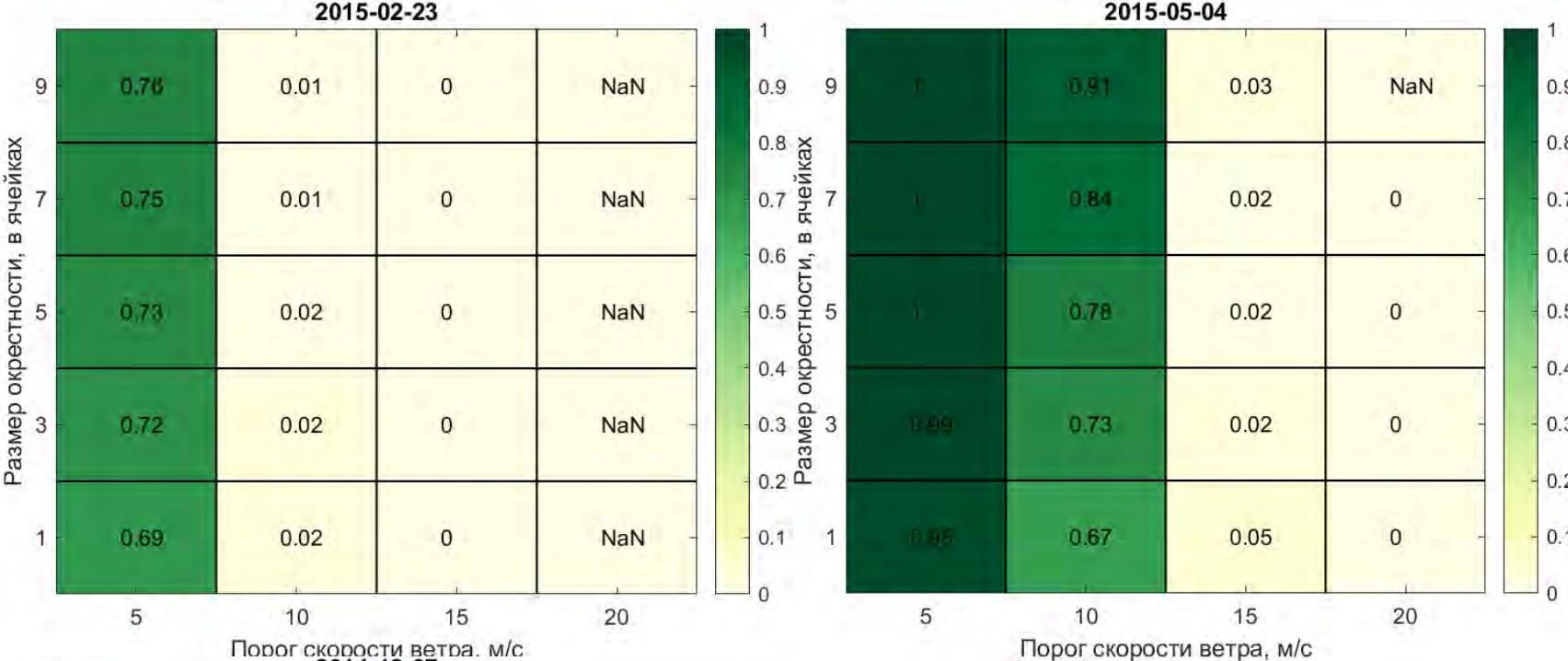


Спутник	Широты	Долготы	Доступный период данных
CRYOSAT	63°- 82°	20°- 105°	2010 - 2018
ENVISAT	65°- 82°	20°- 102°	2002 - 2012
ERS (ERS-1, ERS-2)	63°- 82°	20°- 105°	1991 - 2009
GEOSAT	63°- 72°	20°- 76°	1985 - 1988
GFO	63°- 72°	20°- 103°	2000 - 2008
SARAL	63°- 82°	20°- 105°	2013 - 2019
SENTINEL	63°- 82°	20°- 105°	2016 - 2018

Примеры карт SAR



Примеры графиков FSS



FSS SAR

Порог скорости ветра	5 м/с					10 м/с					15 м/с					20 м/с				
	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
Шаг окрестности	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
06.08.2014	0,83	0,86	0,87	0,88	0,88	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
26.11.2014	0,63	0,68	0,71	0,73	0,74	0,04	0,08	0,09	0,08	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
02.12.2014	0,85	0,90	0,92	0,94	0,95	0,13	0,11	0,11	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06.12.2014	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	0,89	0,91	0,94	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07.12.2014	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,62	0,66	0,67	0,68	0,70	0,12	0,09	0,06	0,04	0,04
18.12.2014	0,50	0,47	0,43	0,40	0,34	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.02.2015	0,69	0,72	0,73	0,75	0,76	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
30.04.2015	0,75	0,81	0,83	0,85	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03.05.2015	0,69	0,73	0,76	0,78	0,79	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04.05.2015	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,67	0,73	0,78	0,84	0,91	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	NaN
11.05.2015	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28.11.2015	0,85	0,87	0,87	0,87	0,87	0,46	0,48	0,48	0,49	0,48	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
29.11.2015	0,88	0,92	0,93	0,95	0,96	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01.12.2015	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,71	0,80	0,83	0,86	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01.12.2015(2)	0,66	0,70	0,73	0,75	0,78	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05.12.2015	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,03	0,10	0,07	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19.12.2015	0,63	0,66	0,66	0,67	0,68	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Текущее состояние модельного архива COSMO-CLM

На данный момент эксперименты **завершены** для периодов **1980–2008** и **2010–2016** гг. **за исключением 2009** г. из-за объективных технических ограничений и проблем ☹.

Вычислительные ресурсы: ~**62 000** ядро-часов, общий объём данных – более **120 ТБ**.

При анализе **зоны релаксации** в **10 модельных узлов** была отброшена **с каждой стороны** модельной области.

Перечень тестовых экспериментов

Обозначение эксперимента	Версия модели	Реанализ (форсинг)	приспособление	Спектральный наджинг	Коррекция турбулентной схемы
COSMO_interim (reference)	5.0	ERA-Interim	No	No	Standard
COSMO_interim_long	5.0	ERA-Interim	Yes	No	Standard
COSMO_era5	5.0	ERA5	No	No	Standard
COSMO_interim_sn	5.0	ERA-Interim	No	Yes	Standard
COSMO_era5_sn	5.0	ERA5	No	Yes	Standard
COSMO_interim_turb	5.0	ERA-Interim	No	No	Modified
COSMO_era5_turb	5.0	ERA5	No	No	Modified
COSMO_interim_turb_sn	5.0	ERA-Interim	No	Yes	Modified
COSMO_interim_turb_sn_long	5.0	ERA-Interim	Yes	Yes	Modified
COSMO_era5_turb_sn	5.0	ERA5	No	Yes	Modified
COSMO_era5_sn_v505	5.05	ERA5	No	Yes	Modified
COSMO_interim_sn_v505	5.05	ERA-Interim	No	Yes	Modified
COSMO_interim_v505_long	5.05	ERA-Interim	Yes	No	Modified

СКО корреляция, январь 2013 г.													СКО корреляция, сентябрь 2015 г.																
Имя эксперимента	T_2M (все)		T_2M (берег)		T_2M (внутри)		VEL_10M (все)		VEL_10M (берег)		VEL_10M (внутри)		PMSL (все)		Имя эксперимента	T_2M (все)		T_2M (берег)		T_2M (внутри)		VEL_10M (все)		VEL_10M (берег)		VEL_10M (внутри)		PMSL (все)	
COSMO_in terim	4.22	0.76	3.12	0.78	4.80	0.75	2.30	0.55	3.12	0.59	1.83	0.53	2.98	0.96	COSMO_in terim	2.38	0.77	1.83	0.75	2.69	0.78	2.02	0.65	2.63	0.67	1.65	0.64	1.87	0.99
COSMO_e ra5	4.19	0.76	3.07	0.79	4.77	0.74	2.30	0.57	3.11	0.62	1.84	0.55	2.77	0.97	COSMO_in terim_long	2.41	0.76	1.85	0.75	2.72	0.77	2.06	0.64	2.68	0.66	1.68	0.63	1.96	0.99
COSMO_in terim_sn	3.69	0.83	2.61	0.85	4.25	0.82	2.12	0.65	2.78	0.70	1.74	0.62	2.01	0.99	COSMO_e ra5	2.34	0.79	1.78	0.78	2.65	0.80	2.00	0.67	2.59	0.69	1.65	0.65	1.70	0.99
COSMO_e ra5_sn	3.70	0.83	2.62	0.86	4.27	0.81	2.10	0.66	2.76	0.71	1.73	0.63	2.13	0.99	COSMO_in terim_sn	2.29	0.79	1.72	0.78	2.60	0.79	1.89	0.70	2.41	0.73	1.58	0.68	1.53	1.00
COSMO_in terim_turb	4.10	0.76	3.29	0.78	4.53	0.76	2.30	0.55	3.12	0.59	1.84	0.53	3.24	0.96	COSMO_e ra5_sn	2.29	0.81	1.71	0.80	2.61	0.81	1.87	0.71	2.37	0.74	1.58	0.68	1.42	1.00
COSMO_e ra5_turb	4.16	0.76	3.32	0.78	4.60	0.75	2.32	0.57	3.17	0.61	1.84	0.54	3.25	0.96	COSMO_in terim_turb	2.43	0.77	1.87	0.76	2.74	0.78	2.03	0.64	2.67	0.66	1.65	0.64	1.91	0.99
COSMO_in terim_turb_sn	3.38	0.84	2.65	0.85	3.77	0.83	2.12	0.65	2.79	0.69	1.74	0.63	2.08	0.99	COSMO_e ra5_turb	2.41	0.80	1.82	0.79	2.73	0.80	1.98	0.67	2.55	0.70	1.64	0.66	1.65	0.99
COSMO_in terim_turb_sn_long	3.57	0.83	2.74	0.85	4.00	0.83	2.11	0.65	2.79	0.70	1.72	0.62	2.14	0.99	COSMO_in terim_turb_sn	2.35	0.79	1.78	0.79	2.67	0.80	1.89	0.69	2.42	0.73	1.58	0.67	1.57	1.00
COSMO_e ra5_turb_sn	3.37	0.85	2.67	0.86	3.74	0.84	2.09	0.66	2.77	0.71	1.71	0.64	2.18	0.99	COSMO_in terim_turb_sn_long	2.25	0.80	1.71	0.80	2.54	0.80	1.90	0.70	2.43	0.73	1.58	0.68	1.51	1.00
COSMO_e ra5_sn_v505	3.34	0.85	2.37	0.88	3.85	0.84	2.22	0.67	2.90	0.71	1.84	0.64	1.69	0.99	COSMO_e ra5_turb_s	2.35	0.81	1.76	0.81	2.67	0.81	1.88	0.70	2.38	0.74	1.58	0.68	1.45	1.00
COSMO_in terim_v505_long	3.94	0.78	2.99	0.79	4.44	0.78	2.47	0.54	3.30	0.57	2.00	0.53	2.83	0.96	COSMO_e ra5_sn_v505	2.16	0.82	1.60	0.81	2.47	0.83	1.97	0.70	2.47	0.73	1.67	0.68	1.34	1.00
COSMO_in terim_sn_v505_long	3.33	0.85	2.45	0.87	3.80	0.84	2.24	0.65	2.92	0.70	1.86	0.63	1.63	0.99	COSMO_in terim_v505_long	2.25	0.78	1.75	0.76	2.53	0.80	2.15	0.64	2.78	0.65	1.77	0.63	1.83	0.98
ERA-	3.10	0.88	2.52	0.89	3.41	0.88	2.31	0.66	2.65	0.72	2.11	0.64	1.10	0.99	COSMO_in terim_sn_v505_long	2.10	0.81	1.58	0.80	2.39	0.82	1.97	0.70	2.48	0.72	1.67	0.68	1.40	1.00

Дополнительное усвоение данных в почве

Проводилась **ежемесячная реинициализация** модели для лучшего контроля сезонных компонентов изменчивости климатической системы в ходе длительных экспериментов (тепло- и влагосодержание почвы) и для минимизации возможных систематических модельных ошибок.

Каждый месяц модель инициализировалась **большинством атмосферных и почвенных переменных** из последнего файла месячного эксперимента (Iffd*), за исключением **подповерхностных переменных** в почве (>2.5 см), которые заменялись из данных реанализа (из laf*).

laf\${YEAR}\${MONTH}0100.nc

→ ***Iffd\${YEAR}\${MONTH+1}0100.nc***

Подстановка
атмосферных
переменных из последнего
модельного файла
Iffd...nc в следующий файл
реанализа ***laf...nc*** file.

laf\${YEAR}\${MONTH+1}0100.nc

→ ***Iffd\${YEAR}\${MONTH+2}0100.nc***

и т. д. ...

laf\${YEAR}\${MONTH+2}0100.nc

→ ***Iffd...0100.nc***

Переменные, не усваивавшиеся дополнительно из ERAI

Имя переменной	Описание переменной	Имя переменной	Описание переменной
U	U-component of wind	T_ICE	temperature of ice upper surface
V	V-component of wind	H_ICE	sea ice thickness
T	temperature	C_T_LK	shape factor of temperature profile in lake thermocline
TQV	precipitable water	DEPTH_LK	lake depth
TQC	vertical integrated cloud water	H_B1_LK	thickness of the upper layer of bottom sediments
TQI	vertical integrated cloud ice	H_ML_LK	thickness of mixed layer
TQG	total graupel content vertically integrated	T_B1_LK	temperature at bottom of upper layer of sediments
TQR	total rain water content vertically integrated	T_BOT_LK	temperature at water bottom sediment interface
TQS	total snow content vertically integrated	T_MNW_LK	mean temperature of water column
T_S	soil surface temperature	PP	deviation from reference pressure
T_SO [1,2]	soil temperature (1 st and 2 nd soil layers)		

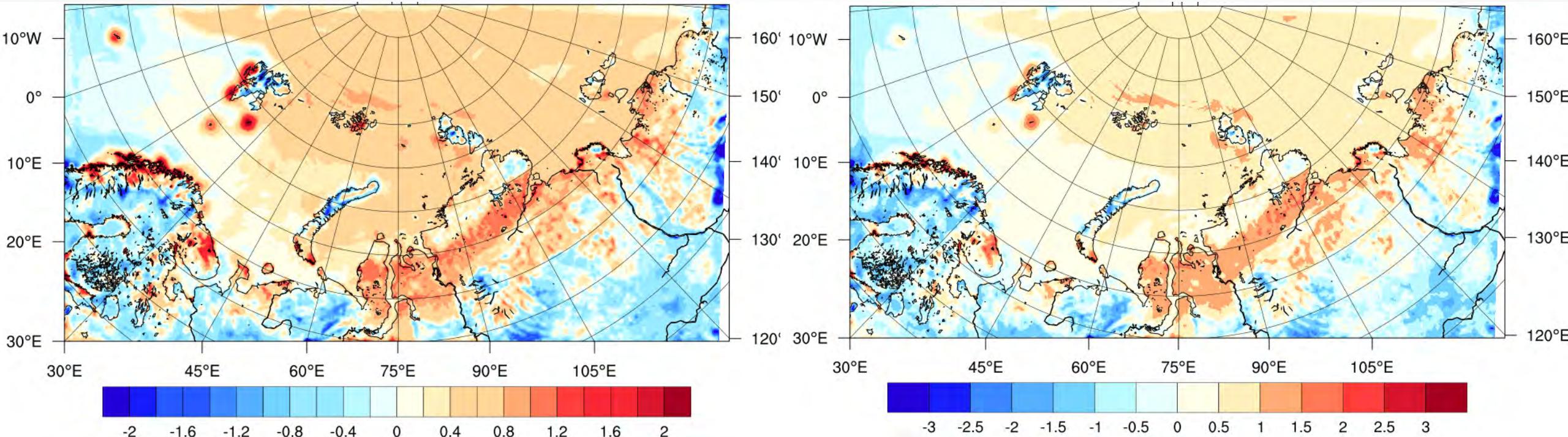
Вертикальные уровни

модели

1	22000.00	25	5596.07	47	150.00
2	21000.00	26	5162.86	48	94.64
3	20028.57	26	4750.00	49	51.43
4	19085.36	27	4357.14	50	20.00
5	18170.00	28	3983.93	51	0.00
6	17282.14	29	3630.00		
7	16421.43	30	3295.00	<u>Z_f = 11357.00</u>	
8	15587.50	31	2978.57		
9	14780.00	32	2680.36		
10	13998.57	33	2400.00		
11	13242.86	34	2137.14		
12	12512.50	35	1891.43		
13	11807.14	36	1662.50		
14	11126.43	37	1450.00		
15	10470.00	38	1253.57		
16	9837.50	39	1072.86		
17	9228.57	40	907.50		
18	8642.86	41	757.14		
19	8080.00	42	621.43		
20	7539.64	43	500.00		
21	7021.43	44	392.50		
22	6525.00	45	298.57		
23	6050.00	46	217.86		

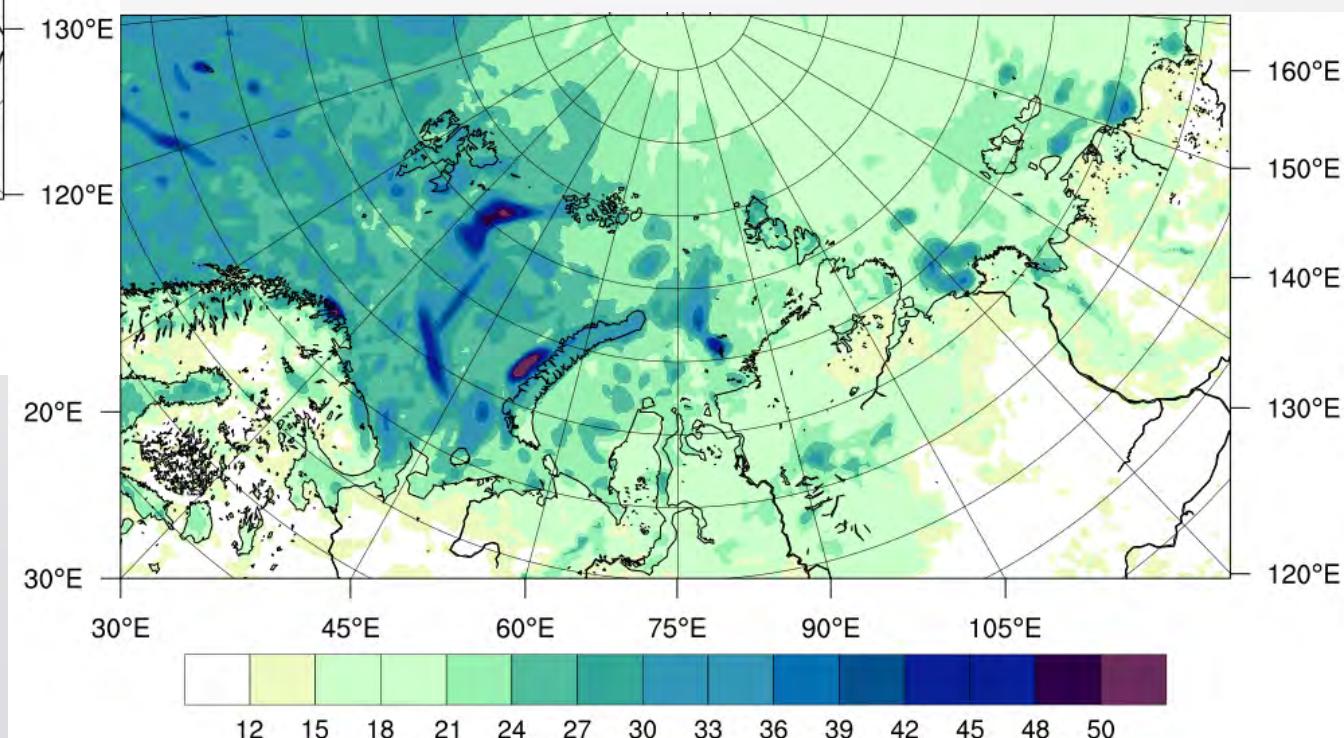
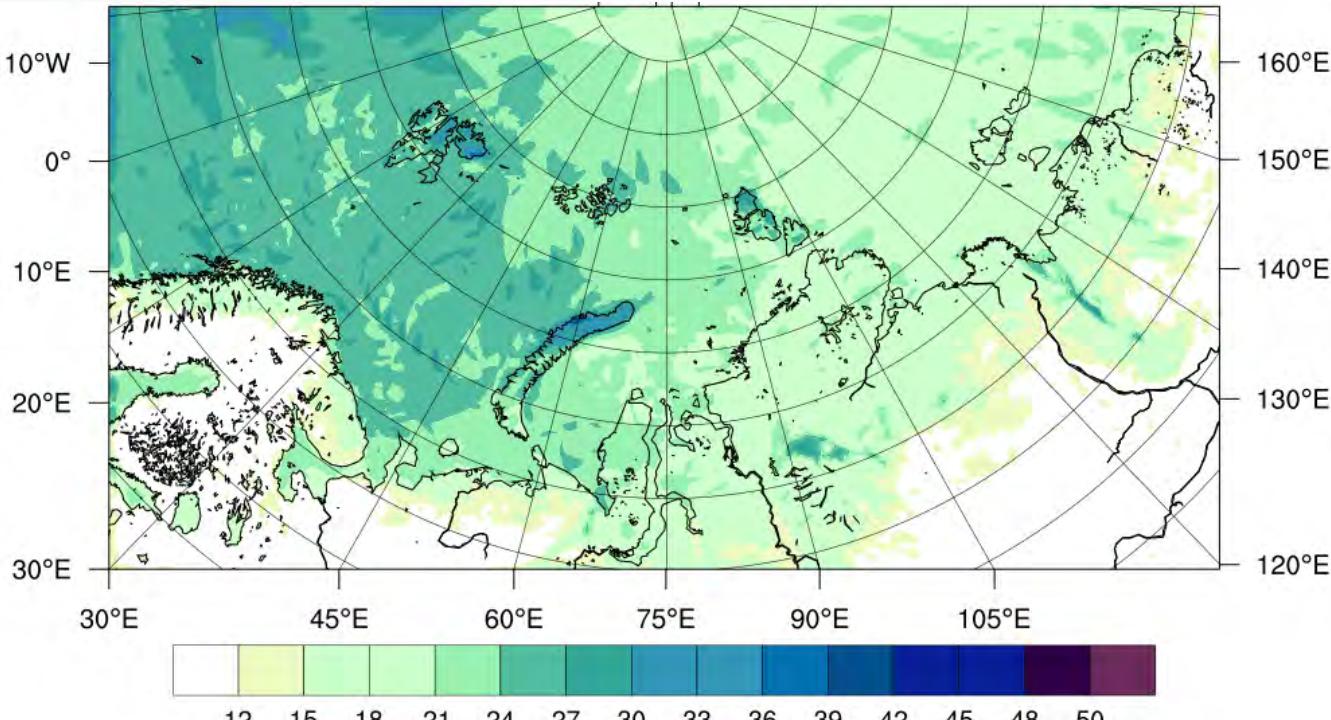
Уровни в почве	Глубина (м)
0	0
1	0.005
2	0.025
3	0.07
4	0.16
5	0.34
6	0.70
7	1.42
8	2.86
9	5.74
10	11.50

Оценка скорости ветра по COSMO-CLM и ASRv2

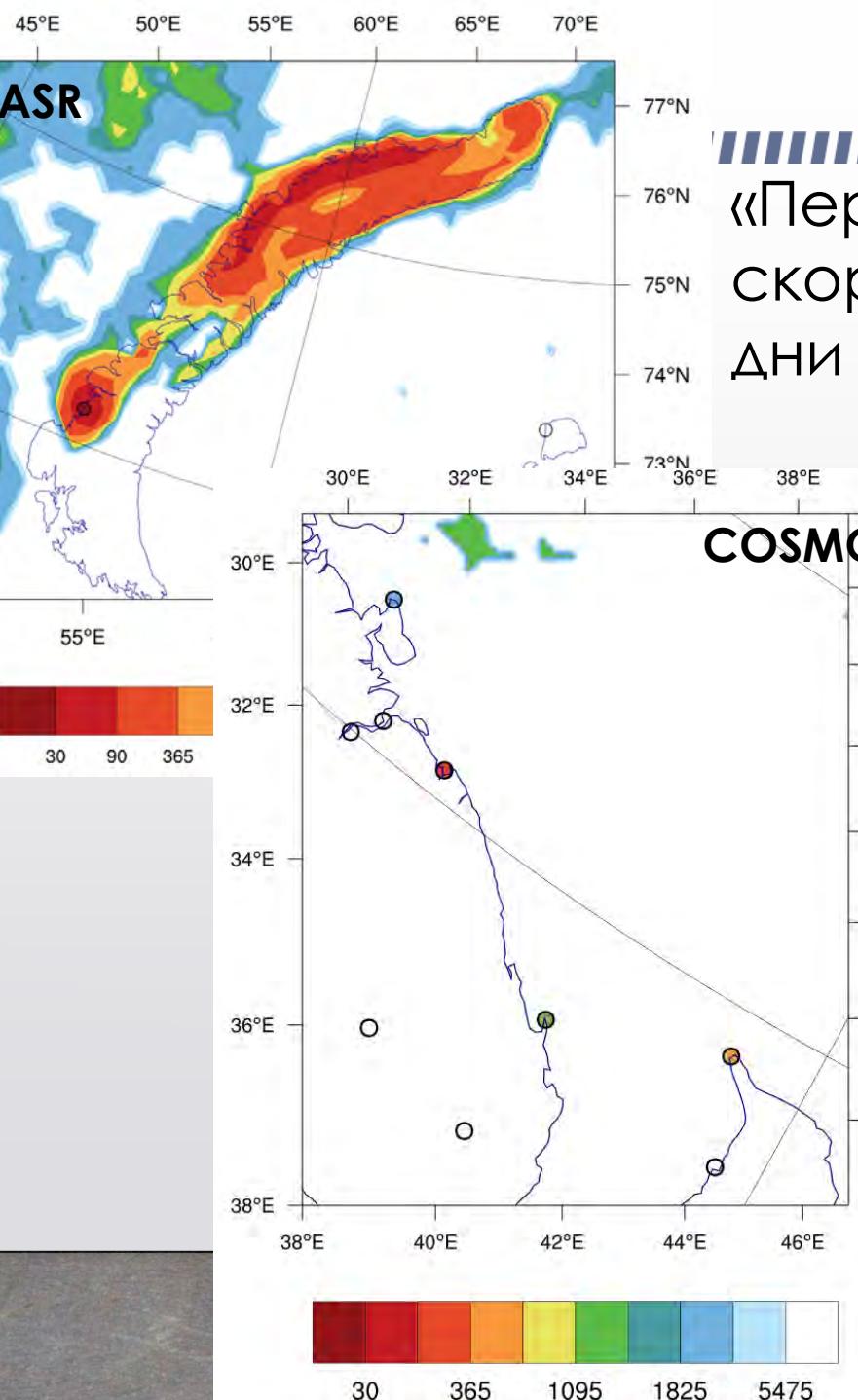
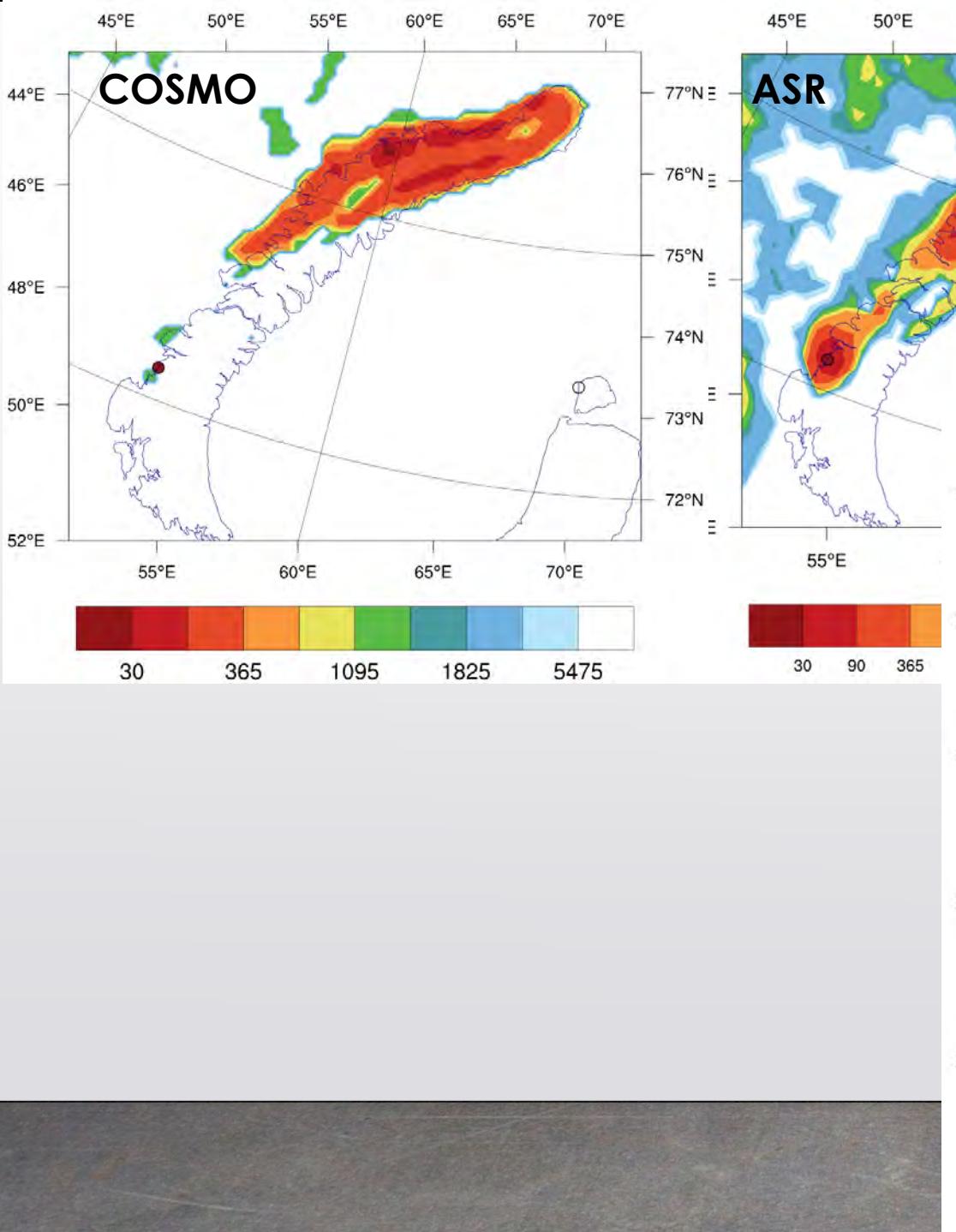


Разность “COSMO-CLM – ASR” в средней (слева) и среднем суточном максимуме (справа) скорости ветра на 10 м (м/с).

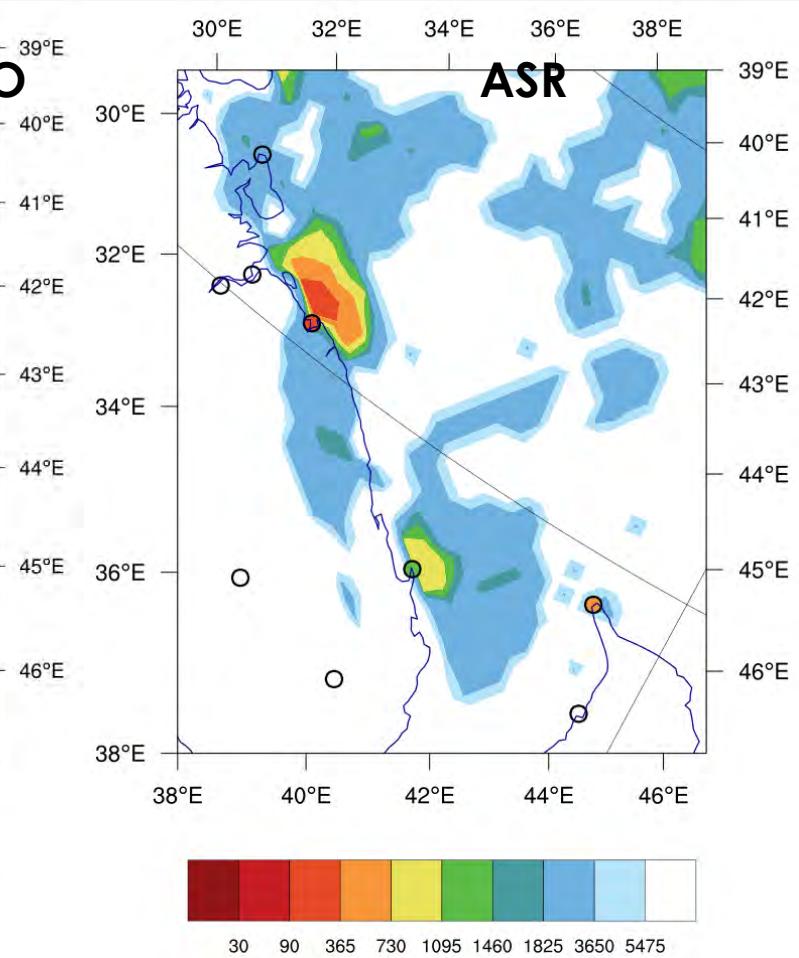
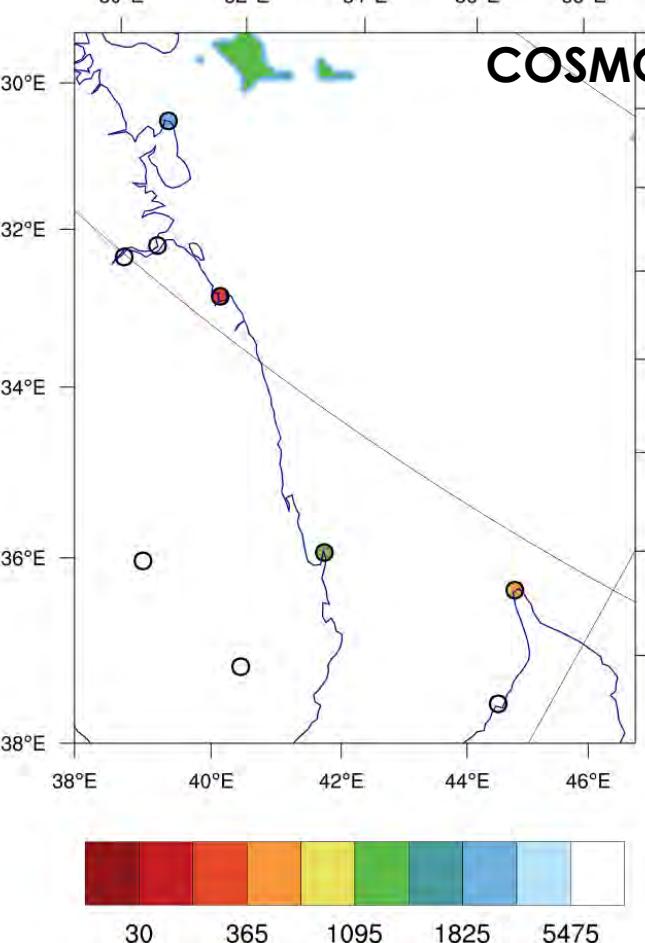
Оценка скорости ветра по COSMO-CLM и ASRv2



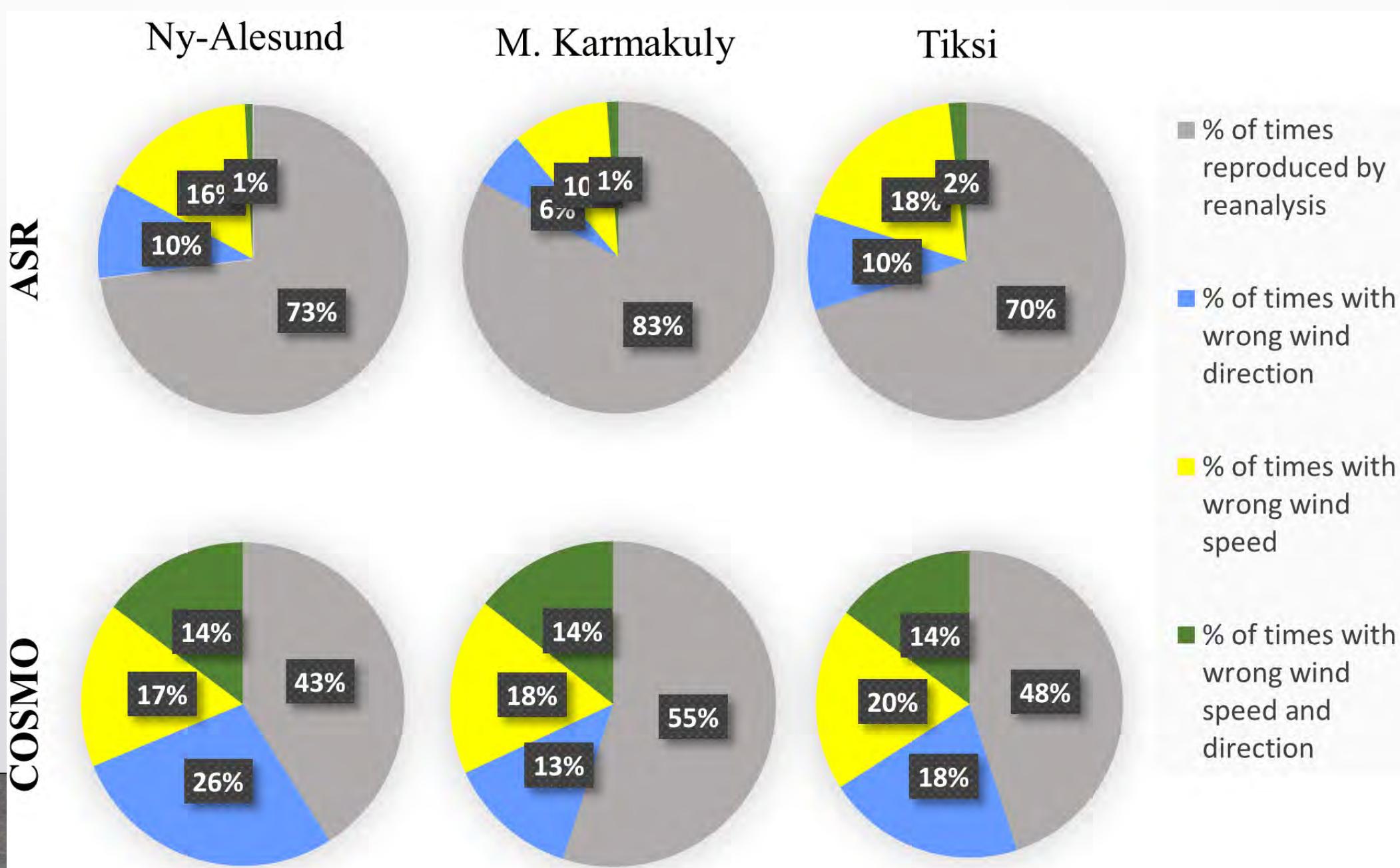
Максимальная скорость ветра на 10 м (м/с) по COSMO-CLM *hindcast* (слева вверху) и по реанализу ASRv2 (справа внизу)



«Период повторения» для скоростей ветра >25 м/с, ДНИ

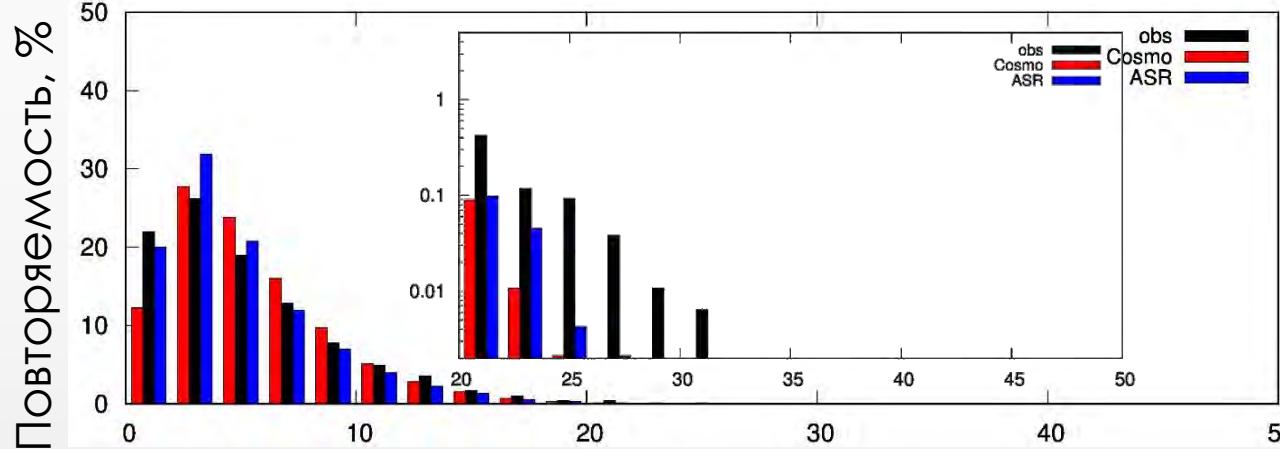


Оценка воспроизведения случаев подветренных бурь

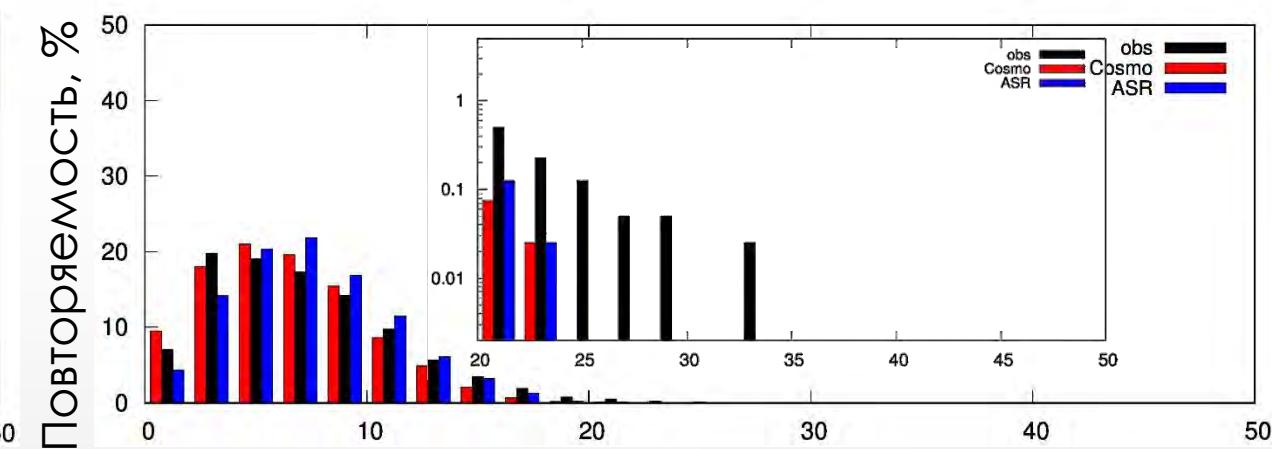


Воспроизведение подветренных бурь по COSMO-CLM и ASRv2

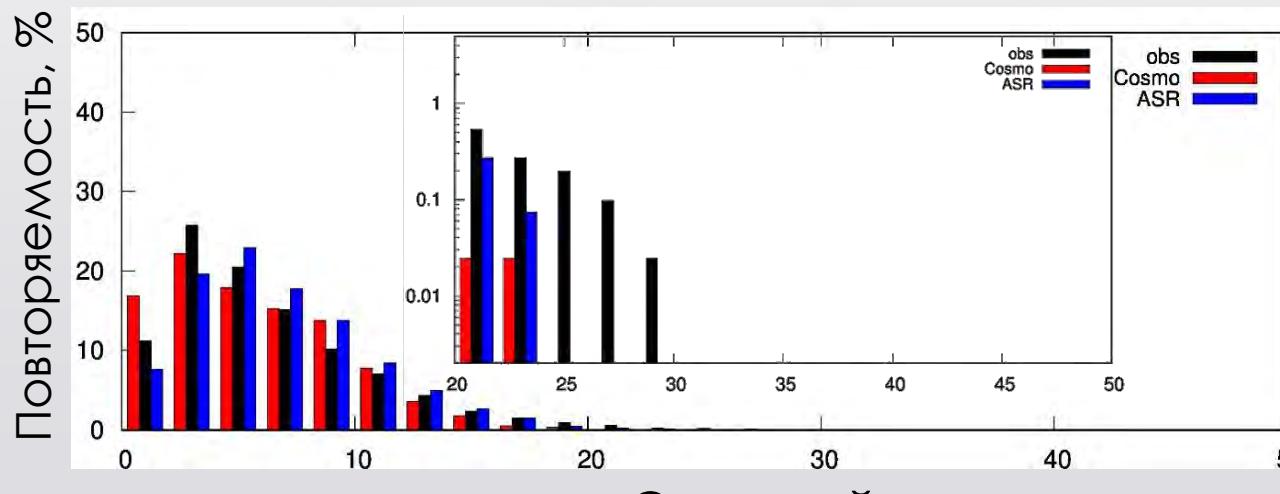
Воспроизведение подветренных бурь по COSMO-CLM и ASRv2



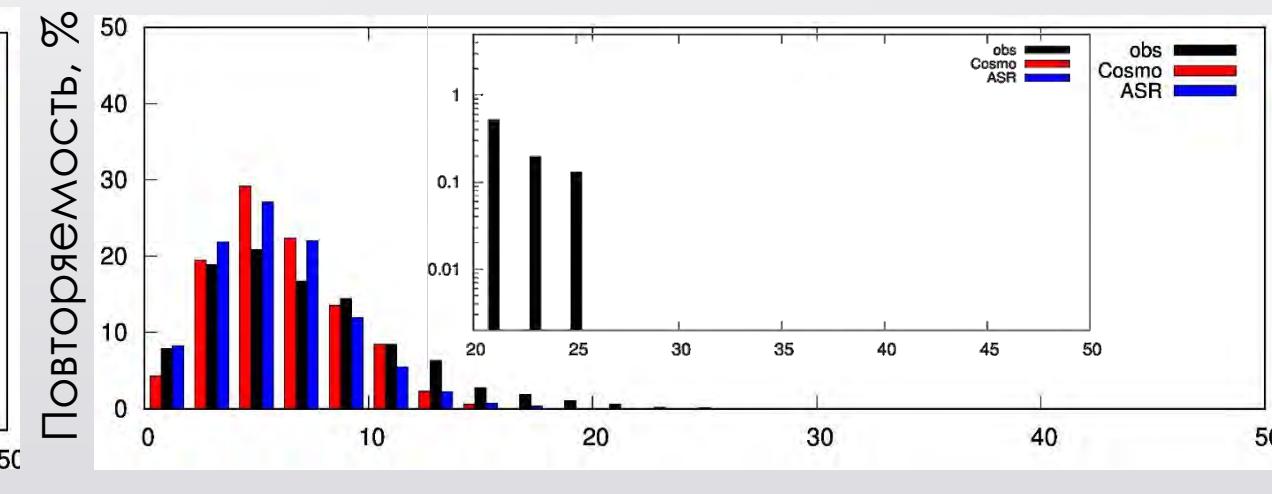
Тикси



Ледовая Гавань



м. Опасный



Им. Гессена

Метод SAL

$$A = \frac{\bar{U}_{mod} - \bar{U}_{obs}}{0.5(\bar{U}_{mod} + \bar{U}_{obs})}$$

$$S = \frac{V(U_{mod}) - V(U_{obs})}{0.5(V(U_{mod}) + V(U_{obs}))}$$

$$V(U_{mod}) = \frac{\sum_{n=1}^N U_n V_n}{\sum_{n=1}^N U_n} \quad \longrightarrow \quad V_n = \sum_{ij} \frac{U(i,j)}{U_n^{max}}$$

$$L = \frac{|x(U_{mod}) - x(U_{obs})|}{d} + 2 \frac{|r(U_{mod}) - r(U_{obs})|}{d}$$

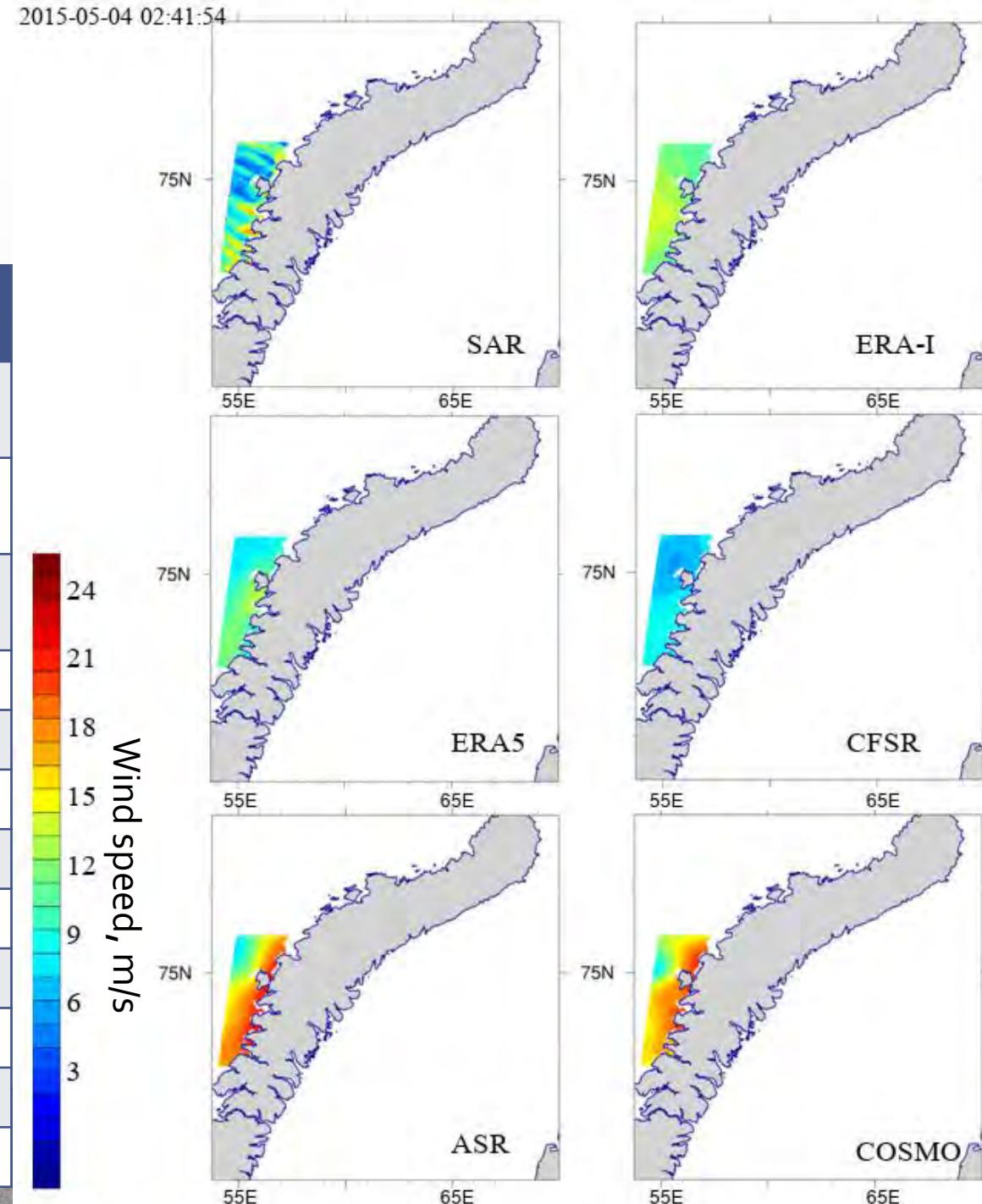
$$r(U_{mod}) = \frac{\sum_{n=1}^N U_n |x - x_n|}{\sum_{n=1}^N U_n}$$

U_n – сумма аномалий скорости ветра для каждого из N объектов
 U_n^{max} – максимальная аномалия U в пределах объекта

d – максимальное расстояние между точками
 x – общий центр масс
 x_n – центр масс каждого из N объектов

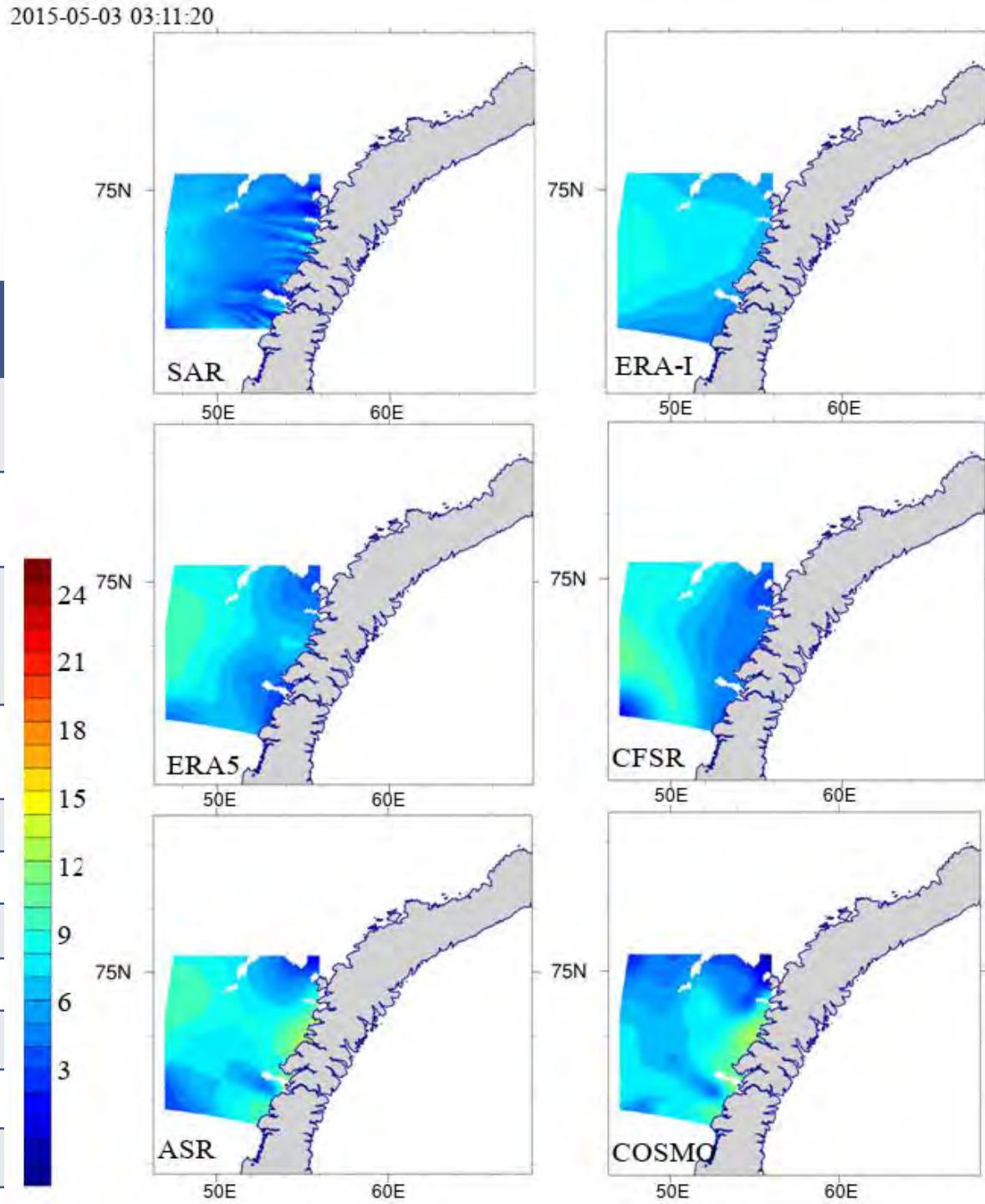
Случаи подветренных бурь по данным SAR Radarsat-2 (04.05.2015)

	ERA-I	ERA5	CFSR	ASR	COSMO-CLM
Ошибка средней скорости ветра	2,50	0,40	-2,20	6,20	6,00
Ошибка минимальной скорости ветра	8,90	6,20	4,90	5,70	6,50
Ошибка максимальной скорости ветра	-6,90	-7,70	-11,70	0,70	-0,30
Ошибка амплитуды	-15,80	-13,90	-16,60	-5,00	-6,80
Ошибка по 95%	-1,50	-2,70	-6,10	5,10	4,20
Ошибка по 99%	-3,20	-4,20	-8,00	3,90	2,90
Ошибка по 99.9%	-5,20	-6,10	-10,00	2,30	1,30
R	-0,05	0,37	0,57	0,50	0,41
S		0,73		1,17	0,65
A		0,11		0,53	0,50
L		0,59		0,18	0,27
dN		-10,00		-9,00	-9,00



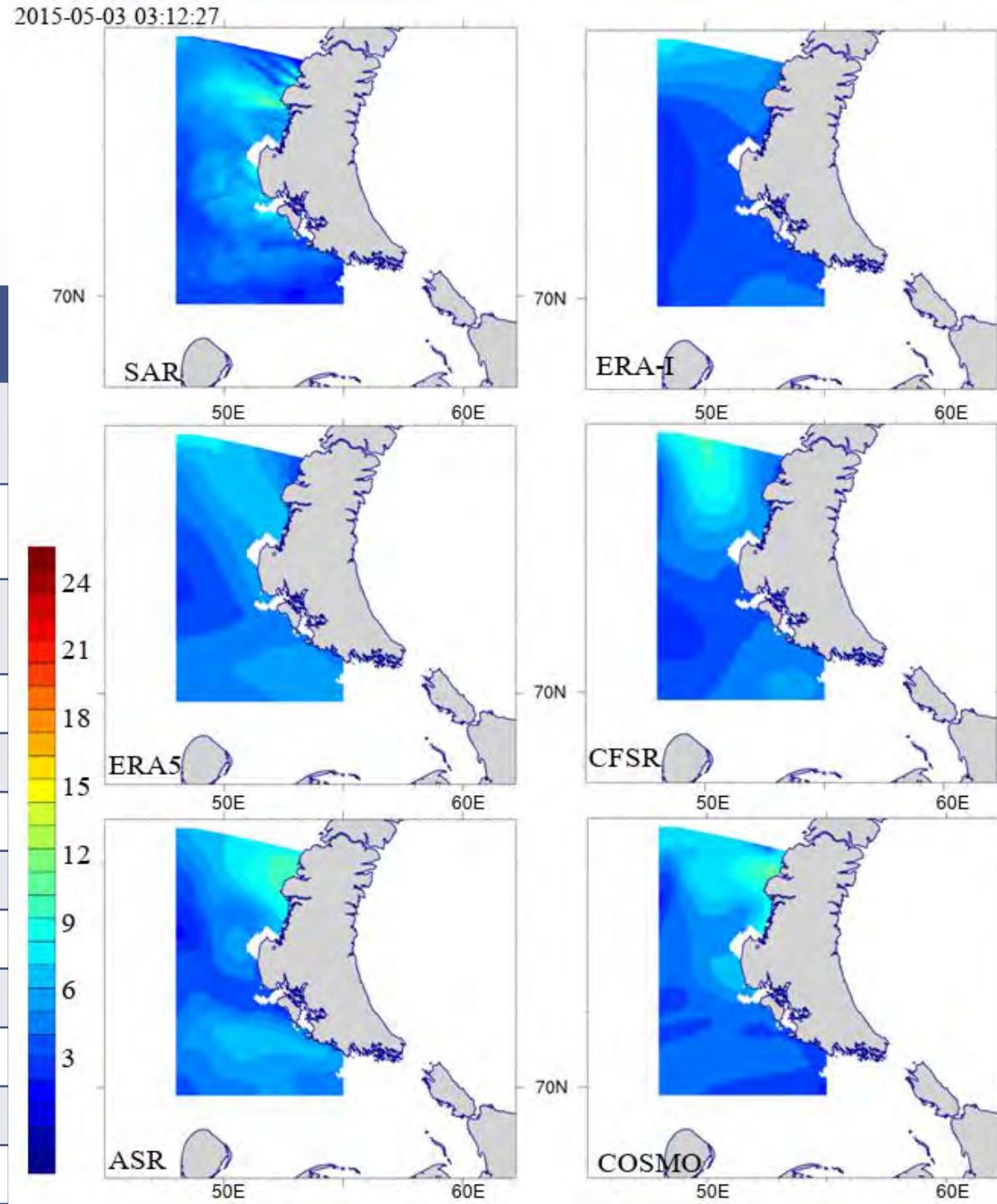
Случаи подветренных бурь по данным SAR Radarsat-2 (03.05.2015)

	ERA-I	ERA5	CFSR	ASR	COSMO-CLM
Ошибка средней скорости ветра	1,90	1,70	1,60	2,40	1,50
Ошибка минимальной скорости ветра	3,80	1,80	0,50	0,20	-0,90
Ошибка максимальной скорости ветра	-7,70	-6,90	-6,20	-3,90	-4,40
Ошибка амплитуды	-11,50	-8,70	-6,70	-4,10	-3,50
Ошибка по 95%	1,10	2,00	2,10	2,50	3,00
Ошибка по 99%	0,60	1,60	2,10	3,70	3,60
Ошибка по 99.9%	-1,10	-0,20	0,50	2,40	2,20
R	0,28	0,63	0,59	0,25	0,05
S	1,57	1,90	1,90	1,33	1,59
A	0,27	0,24	0,23	0,34	0,22
L	0,97	0,99	0,87	0,59	0,89



Случаи подветренных бурь по данным SAR Radarsat-2 (03.05.2015)

	ERA-I	ERA5	CFSR	ASR	COSMO-CLM
Ошибка средней скорости ветра	-0,90	0,20	0,10	0,50	0,40
Ошибка минимальной скорости ветра	2,20	2,90	2,60	1,90	2,80
Ошибка максимальной скорости ветра	-9,10	-8,70	-7,50	-6,70	-6,40
Ошибка амплитуды	-11,30	-11,60	-10,10	-8,60	-9,20
Ошибка по 95%	-1,40	-0,60	1,00	0,90	0,70
Ошибка по 99%	-2,00	-1,80	0,10	0,50	0,50
Ошибка по 99.9%	-3,30	-3,00	-1,60	-0,80	-0,50
R	0,20	0,36	0,41	0,22	0,64
S	-1,10	-1,34	1,45	0,70	0,23
A	-0,16	0,07	0,05	0,12	0,10
L	0,47	0,52	0,32	0,24	0,26
dN	-8,00	-8,00	-8,00	-6,00	-8,00



Оценки индексов ETCCDI по COSMO-CLM

