

Оценка качества воспроизведения
приземной скорости ветра новым
детализированным модельным архивом
COSMO-CLM по стационарным и спутниковым
данным в Российской Арктике

Платонов Владимир, Бойко Аксинья

МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет,
кафедра метеорологии и климатологии

vplatonov86@gmail.com



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

14 – 18 ноября 2022 г.

Содержание доклада

- Модельный архив **COSMO-CLM Russian Arctic hindcast** (шаг сетки $0.108^\circ \approx 12$ км, период **1980 – 2016**): обзор.
- **Цель работы**: верификация полей приземной скорости ветра по различным источникам данных.
- **Использованные данные**: скорость ветра на 10 м на станциях Росгидромета, данные спутниковых альтиметров и радаров.
- **Оценки** воспроизведения модельным архивом климатологии скорости ветра **по стационарным данным**.
- **Регион Новой Земли**: **оценки** воспроизведения модельным архивом климатологии скорости ветра по данным **спутниковых альтиметров**.
- **Регион Новой Земли**: **оценки** воспроизведения модельным архивом случаев сильных скоростей ветра по данным **спутниковых радаров**.
- **Выводы и дальнейшие планы развития работы**.

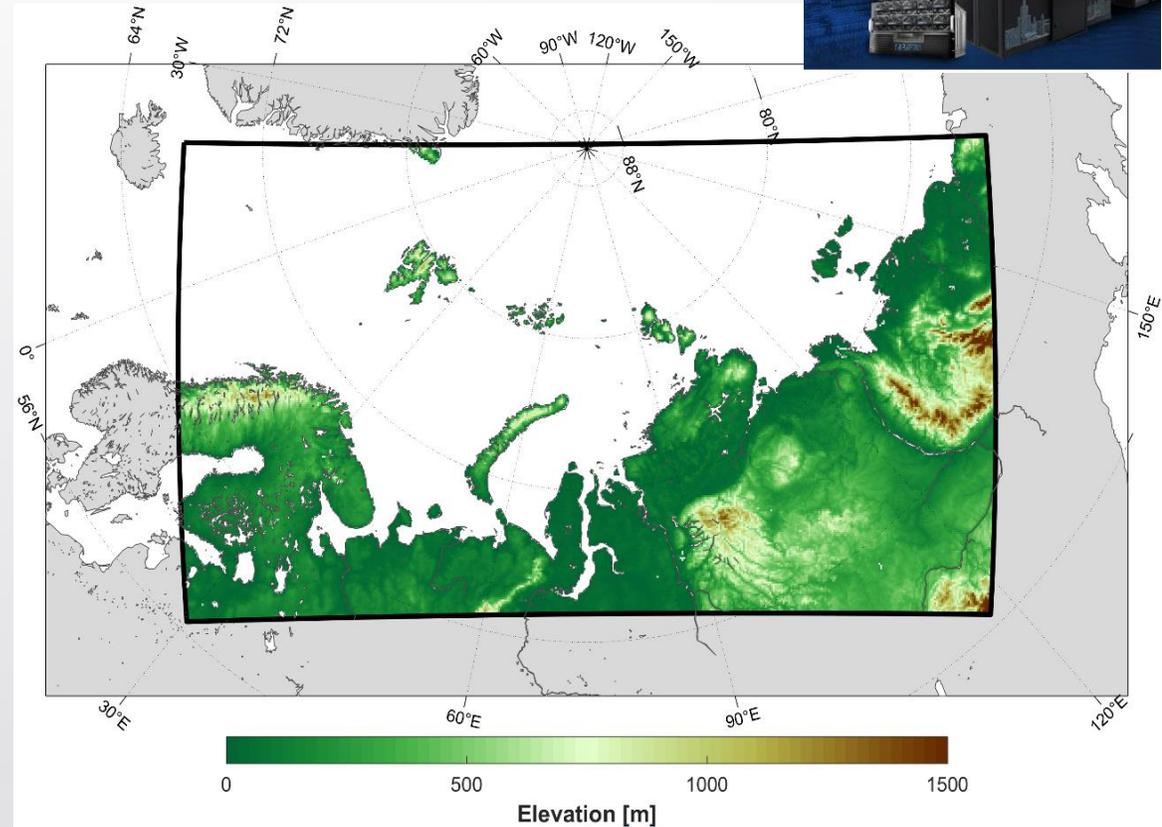
COSMO-CLM Russian Arctic hindcast



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**.



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: **tkhmin = tkmmin = 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: off or 1 month.**

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.

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](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**). Остальные переменные доступны по запросу авторов (открытый доступ в соответствии с лицензией **CC BY 4.0**).

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

MANAGE ⚙

Show collection details

+ Add new items

Sort Filter search items

Dataset Name	Author	Date
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
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 1983	Vladimir Platonov	23/10/2020

File Name	Size
PMSL.nc	497.46 MB
QV_2M.nc	743.59 MB
T_2M.nc	578.32 MB
time1998.nc	10.27 kB
U_10M.nc	824.51 MB
V_10M.nc	829.09 MB
VABSMX_10M.nc	796.95 MB
latlon.nc	744.11 kB
SWDIRS_RAD.nc	458.61 MB
SOBS_RAD.nc	417.79 MB
LHFL_S.nc	844.37 MB
THDS_RAD.nc	700.17 MB

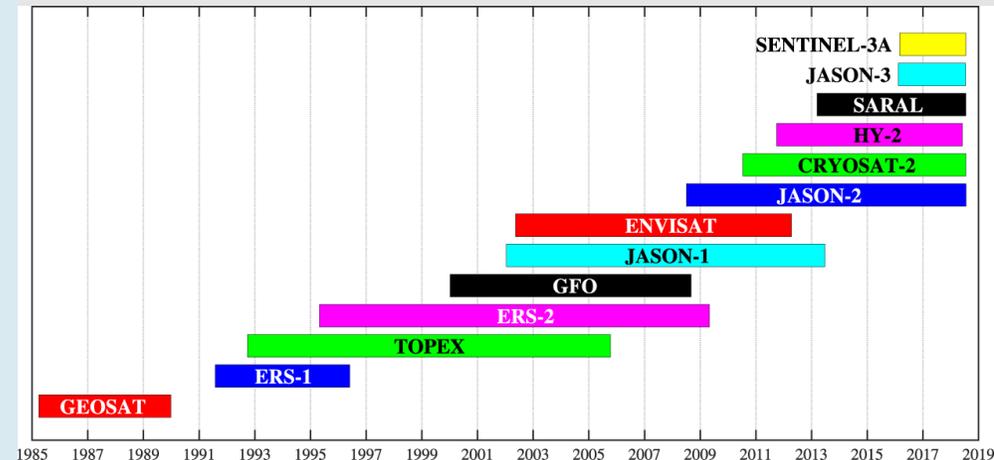
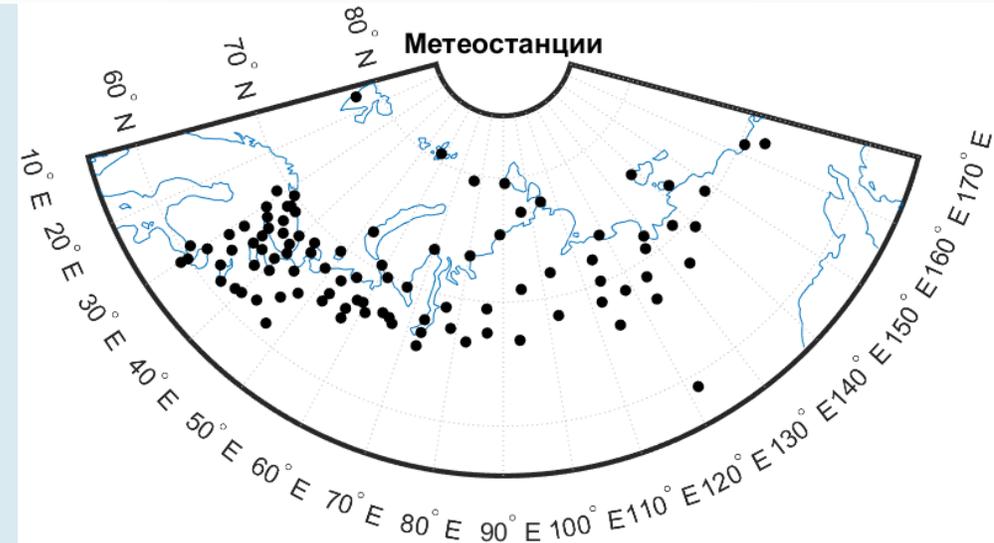
Массивы данных, использованные для оценок

Оценка климатологии скорости ветра на 10 м и эффекта регионального моделирования ('added values'):

- Реанализ ERA-Interim (1980 – 2016), 0.75°;
- COSMO-CLM Russian Arctic hindcast (2000 – 2008, 2010 – 2016), ~12 км;
- Данные стационарных наблюдений из базы данных ВНИИГМИ МЦД (95 станций в Арктике, попадающих в пределы модельной области);

Отдельно для региона о. Новая Земля (45 – 66 °E, 70 – 78 °N):

- Архив спутниковых альтиметров (GEOSAT, ERS-1, ERS-2, GFO, ENVISAT, CRYOSAT-2, HY-2, SARAL, SENTINEL-3A) системы **IMOS** [Ribal, Young, 2019] за периоды **1985 – 1988** и **1991 – 2016** г., ~7 км, 1.5 м/с;
- Данные спутниковых радаров SAR Radarsat-2 (**2014 – 2016** г., **49 – 65 °E, 72 – 77 °N**) из открытого архива NOAA – 19 случаев (~3 м, ~1.5 м/с);



Методы верификации

Стандартные статистические характеристики для станционных данных и альтиметров: средняя ошибка, СКО, квантили, коэффициенты корреляции, индекс рассеяния.

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

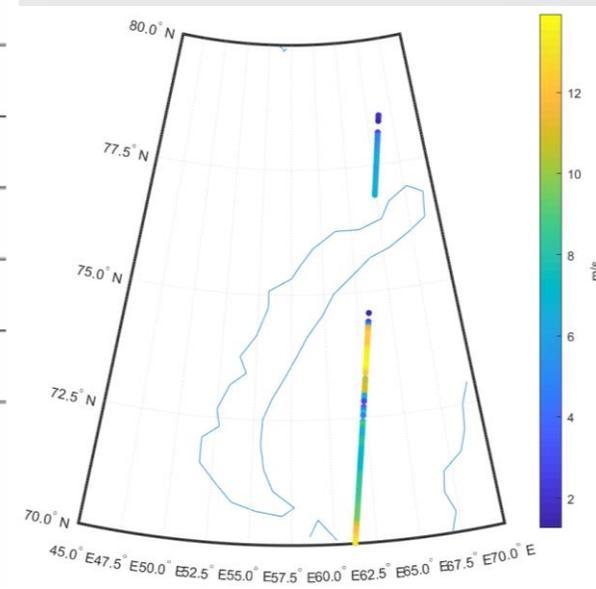
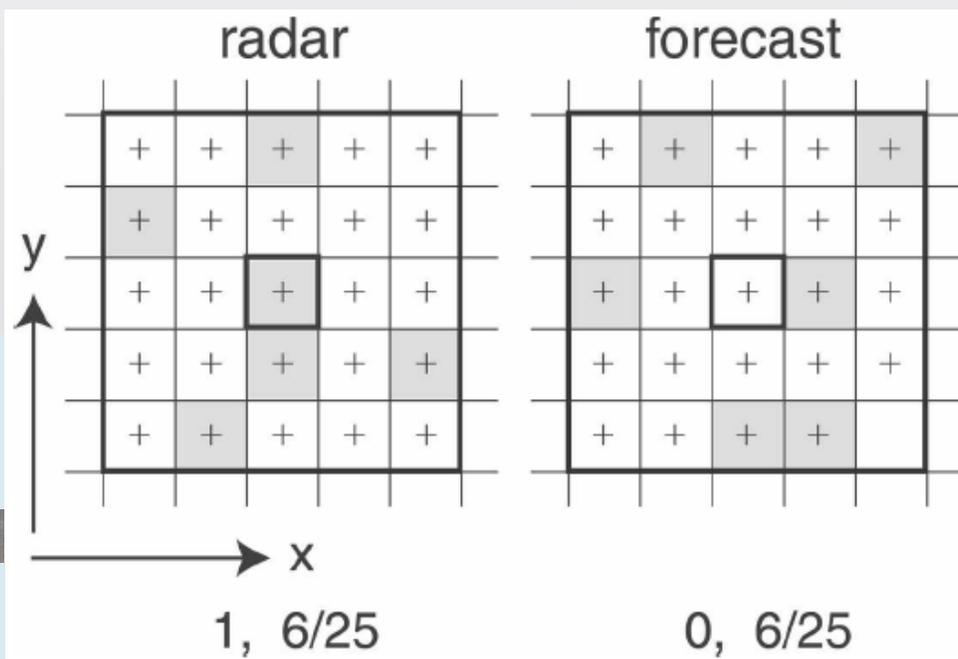
Для верификации случаев по данным снимков SAR использовался пространственный метод **Fraction Skill Score (FSS)** [Roberts, Lean, 2008]. Оценивается качество воспроизведения разных масштабов **при различных пороговых значениях**.

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

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

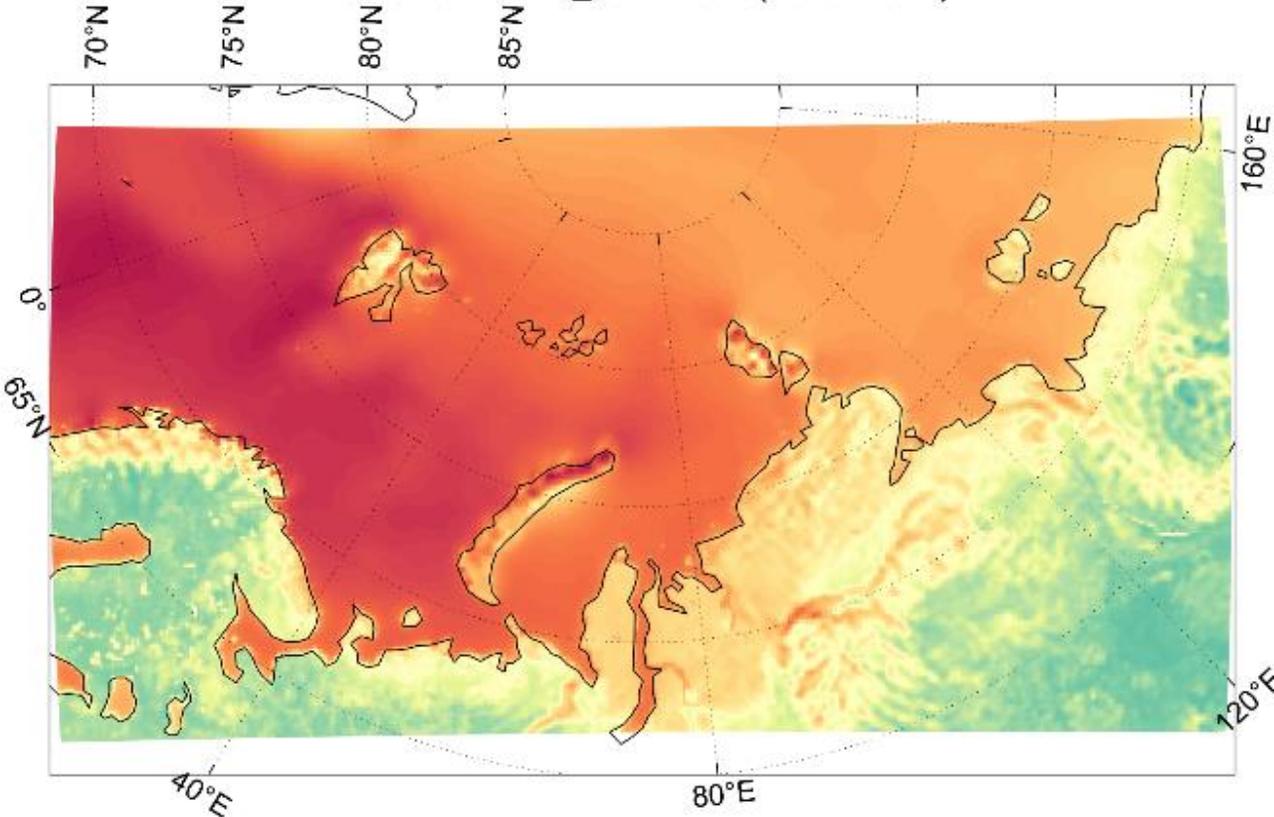
$$MSE_{(n)ref} = \frac{1}{N_X N_Y} \left[\sum_{i=1}^{N_X} \sum_{j=1}^{N_Y} O^2_{(n)i,j} + \sum_{i=1}^{N_X} \sum_{j=1}^{N_Y} M^2_{(n)i,j} \right]$$

[Roberts, Lean, 2008]



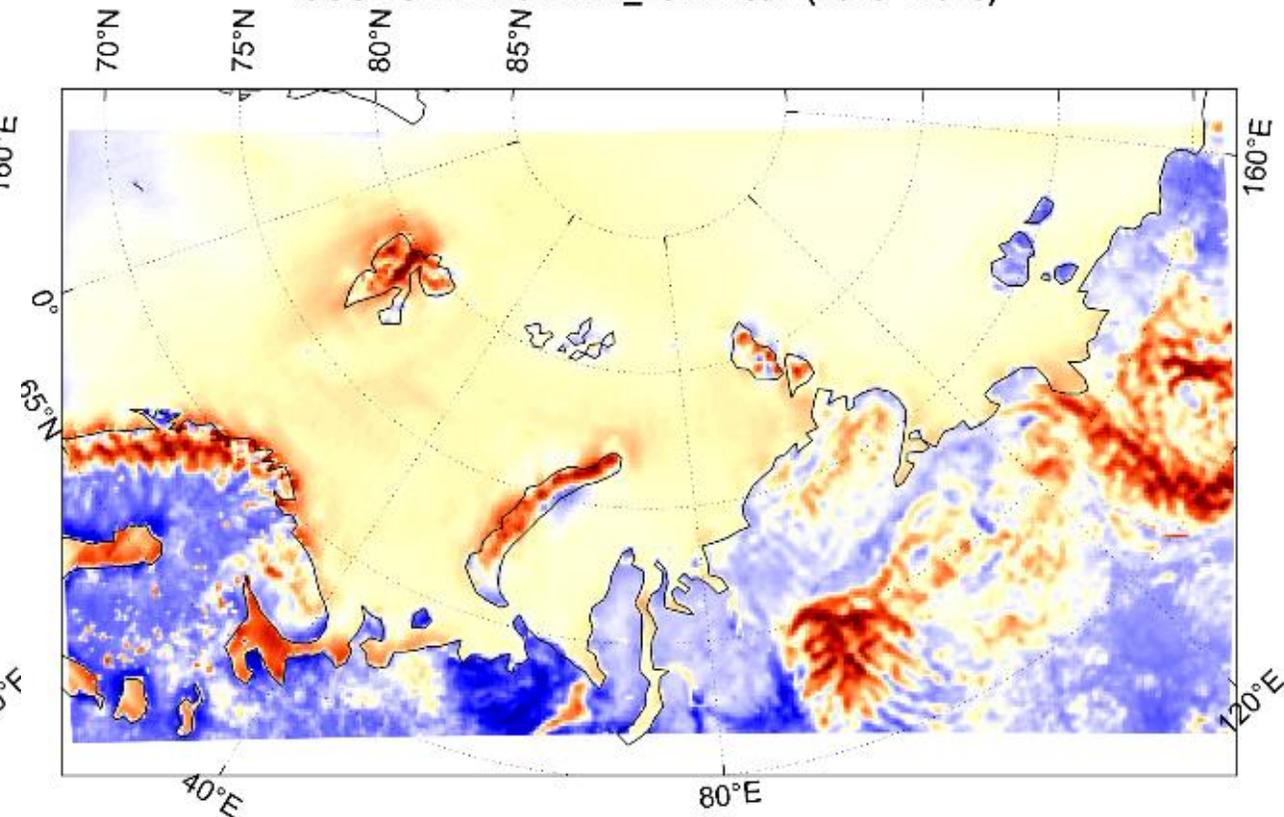
Сравнение COSMO-CLM и ERA-Interim

COSMO.all.VEL_10M.mean (2010 - 2016)



Wind speed [m/s]

COSMO-ERA1.all.VEL_10M.mean (2010 - 2016)



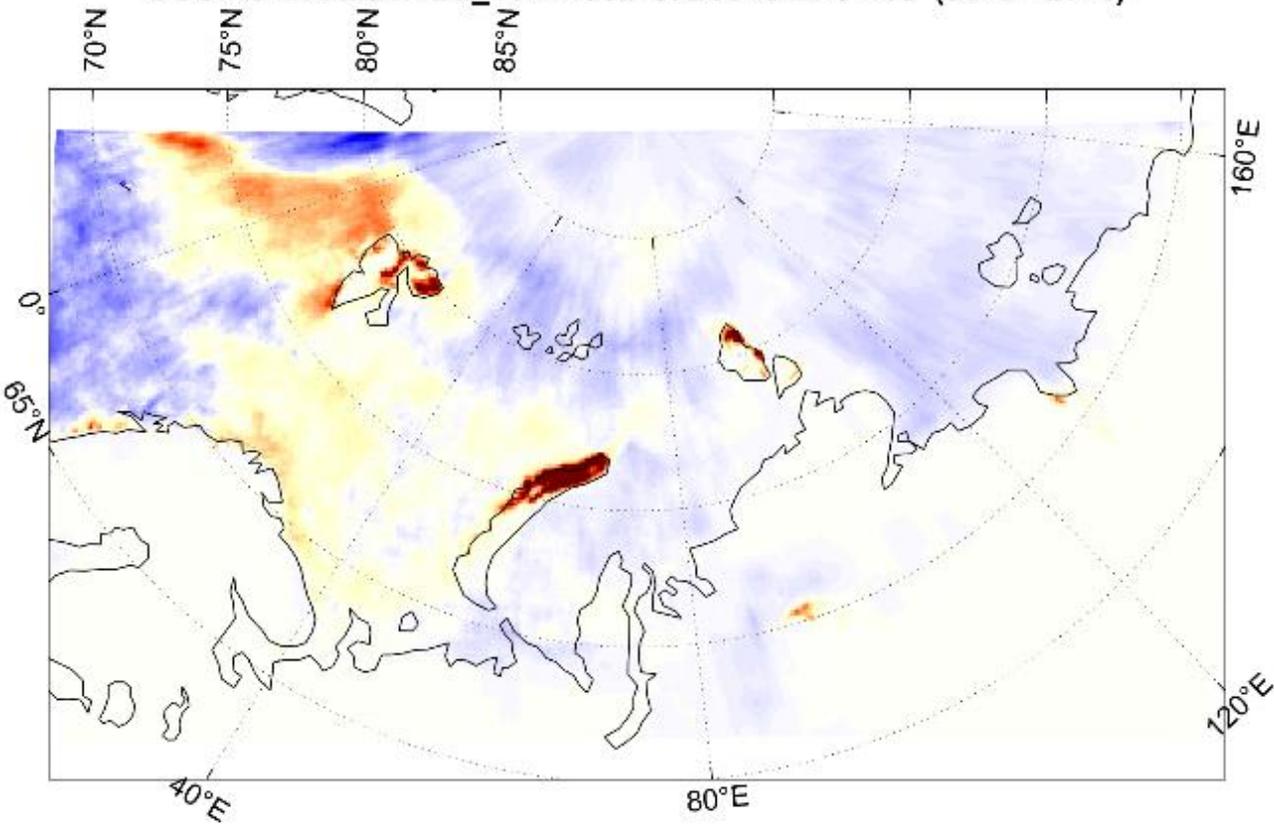
Difference [m/s]

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.**

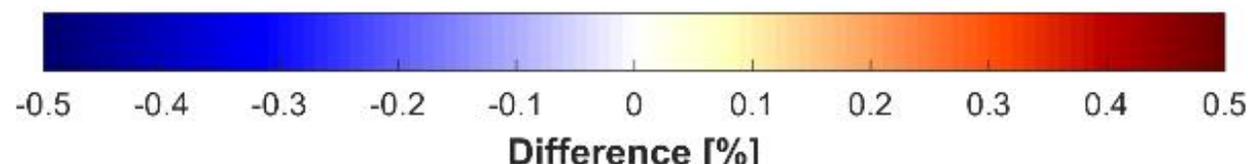
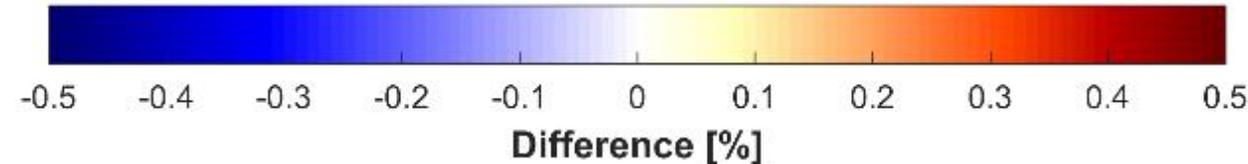
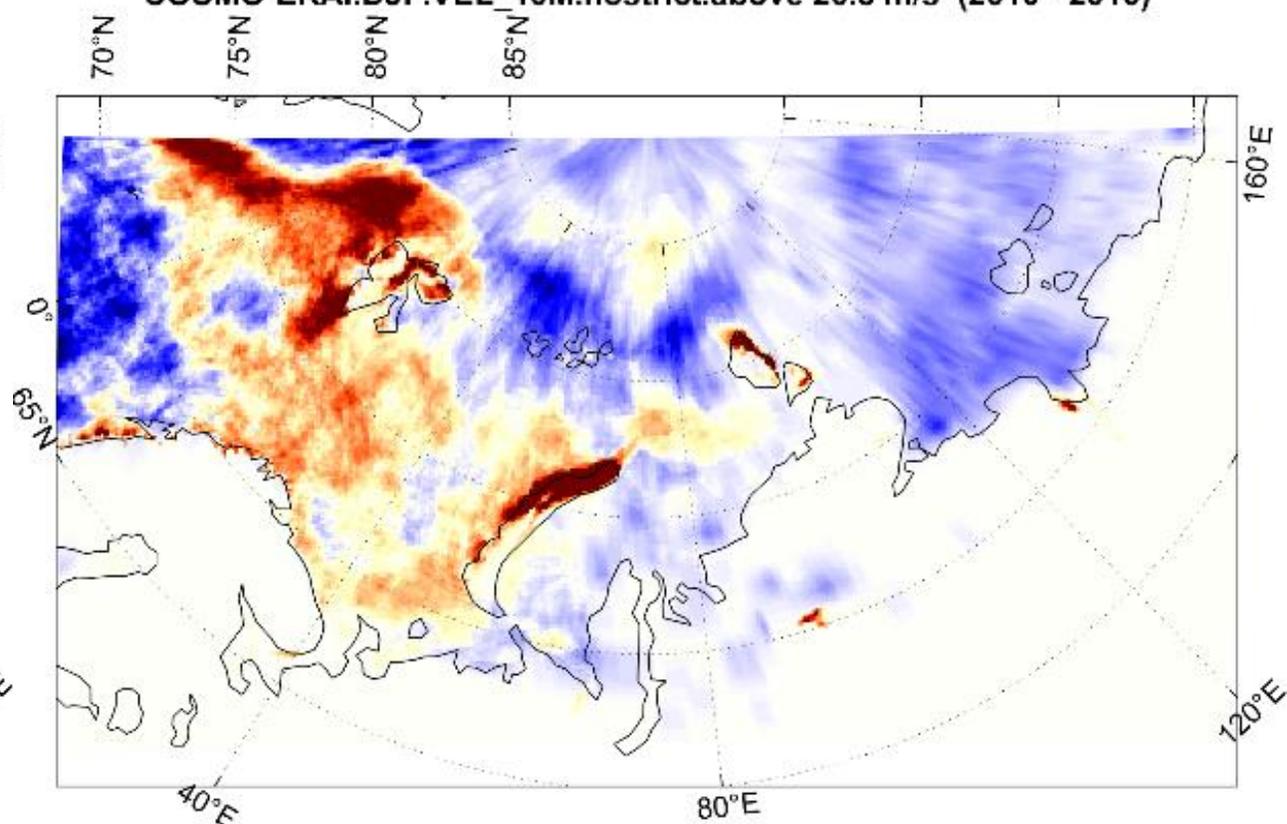
V. Platonov and M. Varentsov. Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation. *Atmosphere*, 12(3): 350; 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>

Сравнение COSMO-CLM и ERA-Interim

COSMO-ERA1.all.VEL_10M.nostrict.above 20.8 m/s (2010 - 2016)



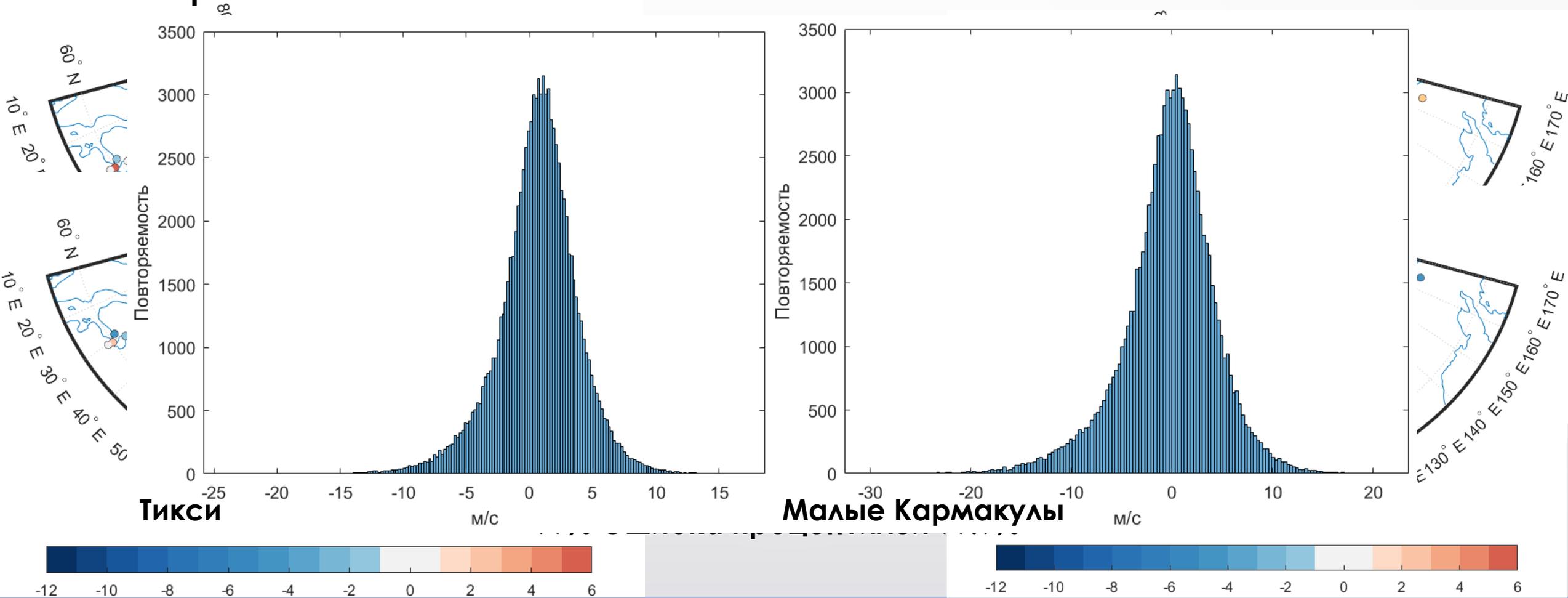
COSMO-ERA1.DJF.VEL_10M.nostrict.above 20.8 m/s (2010 - 2016)



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>

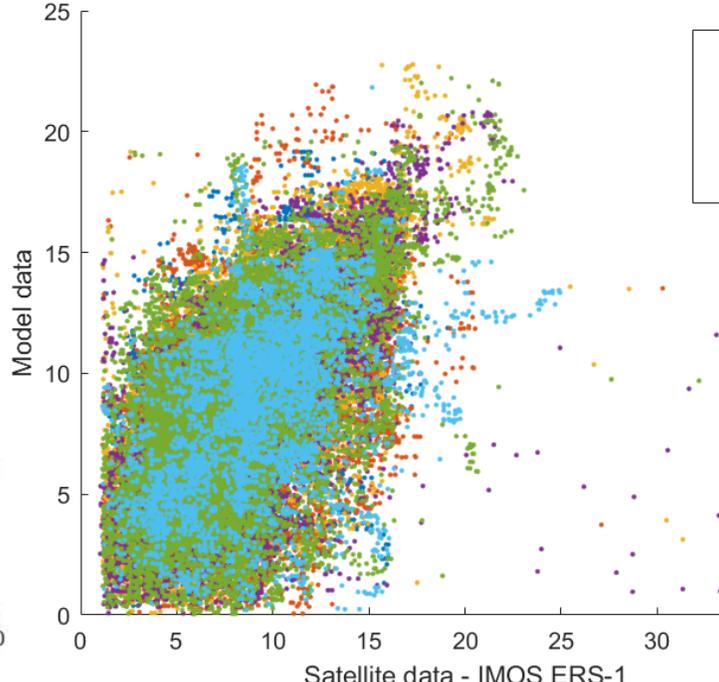
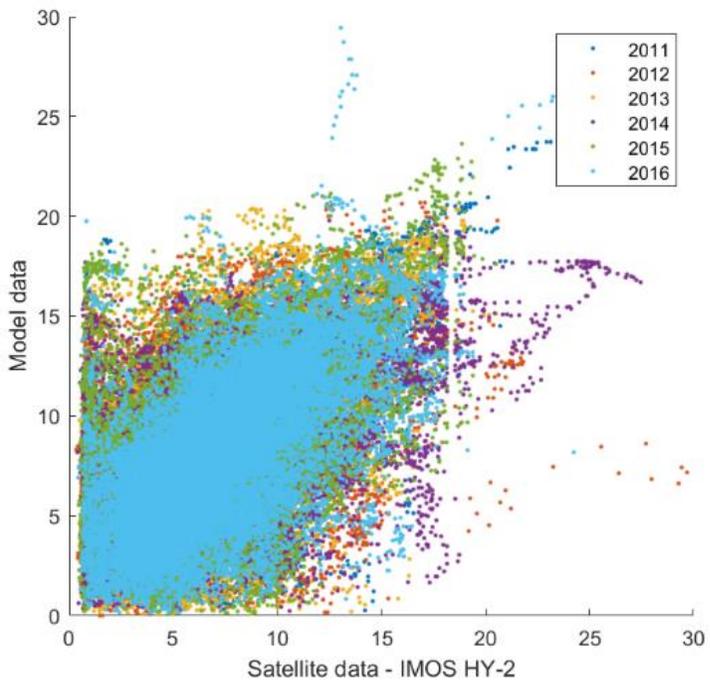
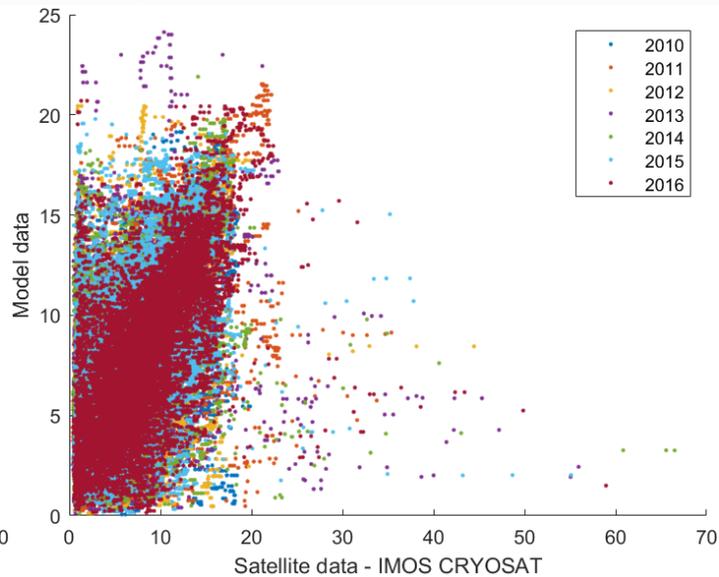
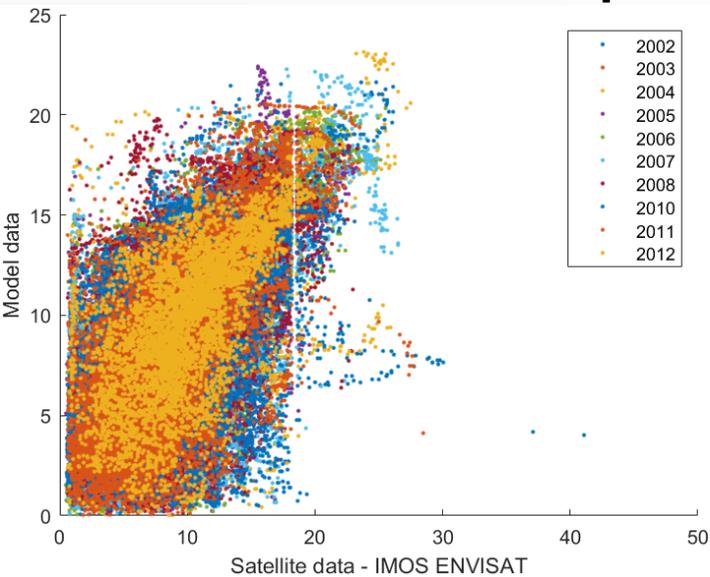
Сравнение COSMO-CLM со станциями



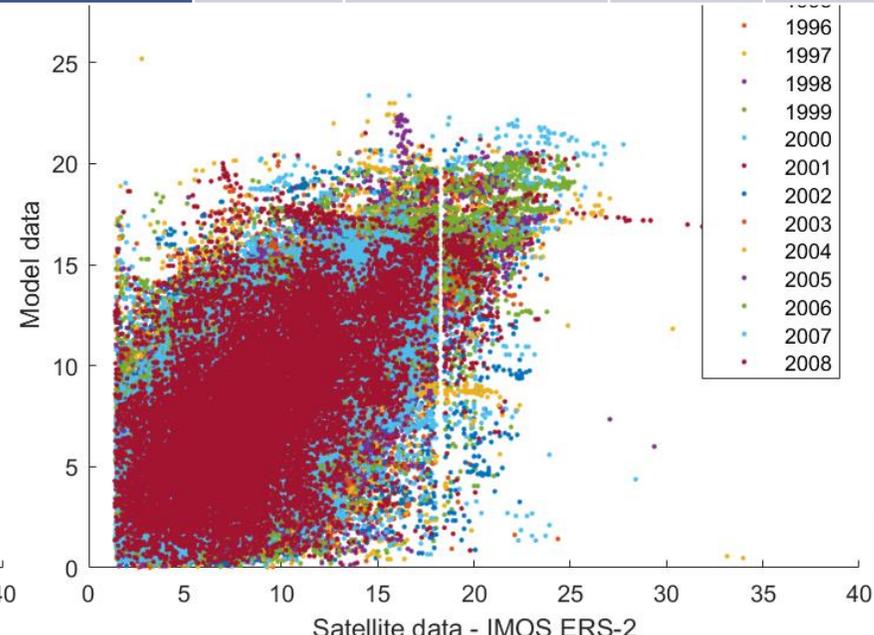
Средние ошибки скорости ветра на 10 м по COSMO-CLM Russian Arctic hindcast (м/с, слева вверху), **СКО** (м/с, справа вверху), и в **проценталях 99% и 99.9%** (м/с, слева и справа внизу) по сравнению с наблюдениями за периоды 1980 – 2008 и 2010 – 2016 гг.

V. Platonov and A. Boiko. COSMO-CLM Russian Arctic Hindcast 1980–2016: Surface Wind Speed Evaluation and Future Perspectives. *Environ. Sciences Proceed.*, 2022, Vol. 19, №1, P. 39. <https://doi.org/10.3390/ecas2022-12823>

Сравнение с альтиметрами



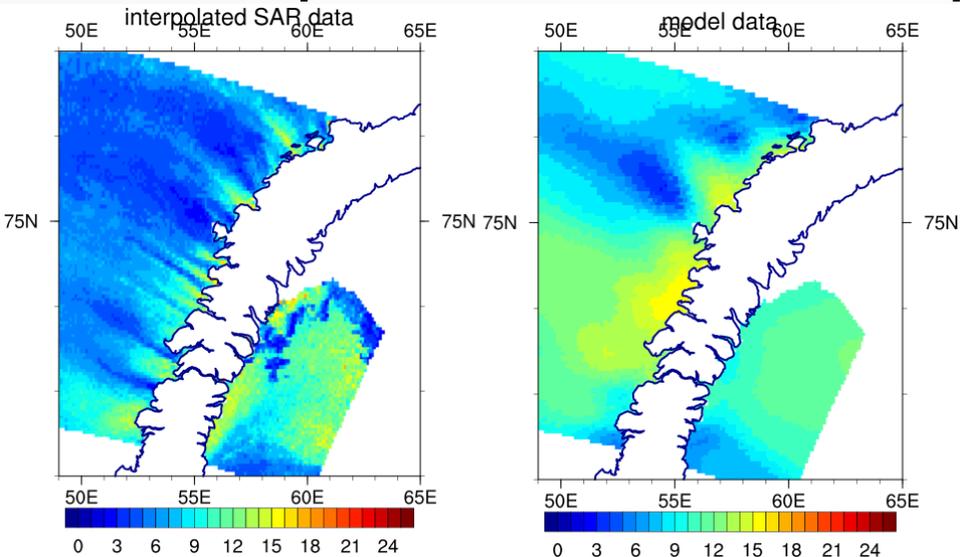
Спутник	R ²	Средняя ошибка	СКО	Scatter Index
CRYOSAT	0,26	0,34	3,95	0,51
ENVISAT	0,39	-0,66	3,39	0,39
ERS-1	0,37	0,03	3,20	0,38
ERS-2	0,40	-0,64	3,31	0,39
GEOSAT	0,28	-0,12	3,42	0,40
GFO	0,41	0,08	2,89	0,37
SARAL	0,34	-0,55	3,33	0,41
SENTINEL	0,43	-0,24	3,13	0,41
HY-2	0,26	1,11	3,69	0,51



Сравнение с радарными 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
Среднее	0,8	4,1	0,1	-0,4	-2,8	-5,6

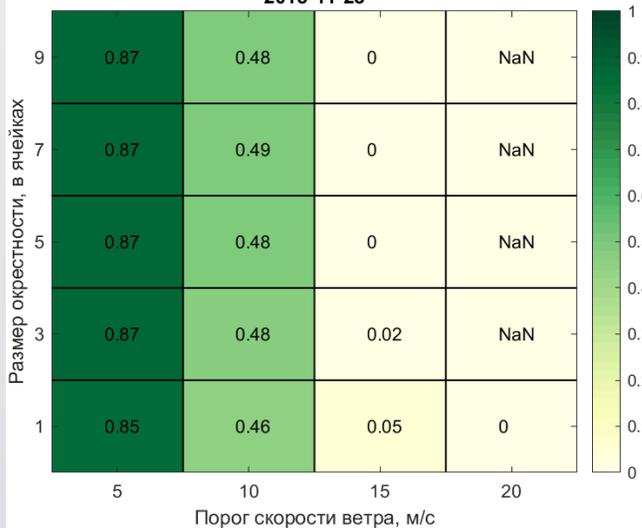
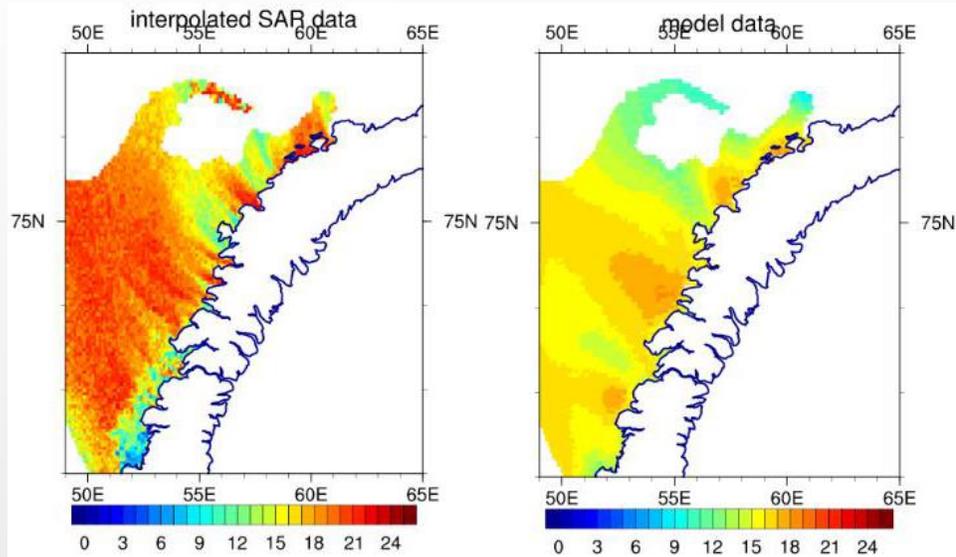
Сравнение с радарными SAR Radarsat-2



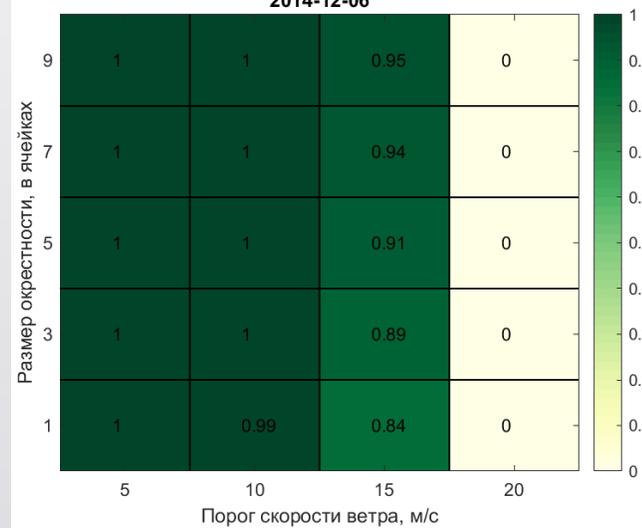
28.11.2015 06.12.2014

Размеры
окрестностей:

- 1 точка \approx 5 км
- 3 точки \approx 15 км
- 5 точек \approx 25 км
- 7 точек \approx 35 км
- 9 точек \approx 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 \sim **45 км**. Для 06.12.2014 – \sim **25 км**;
15 м/с: FSS растёт 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 размера окрестности, в ячейках, **28.11.2015**

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

Выводы и дальнейшие планы работы

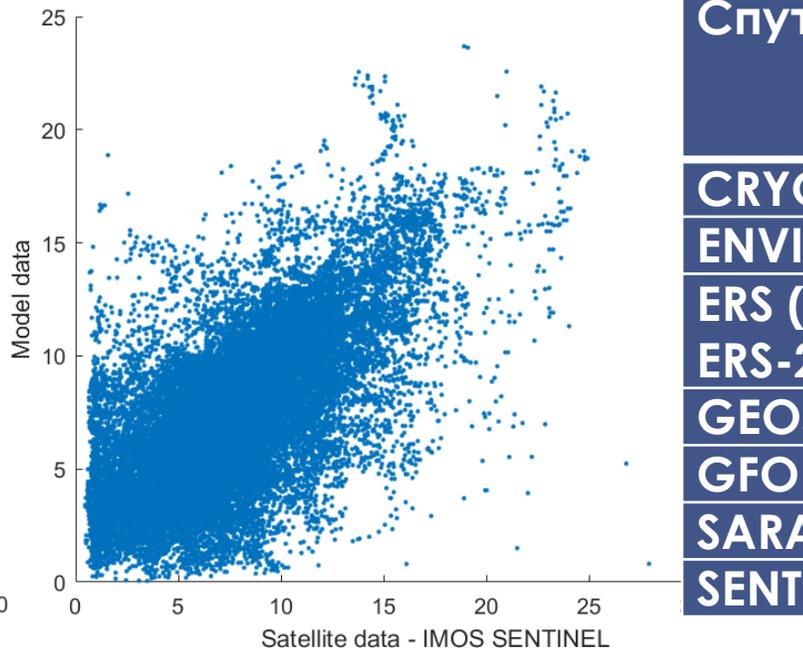
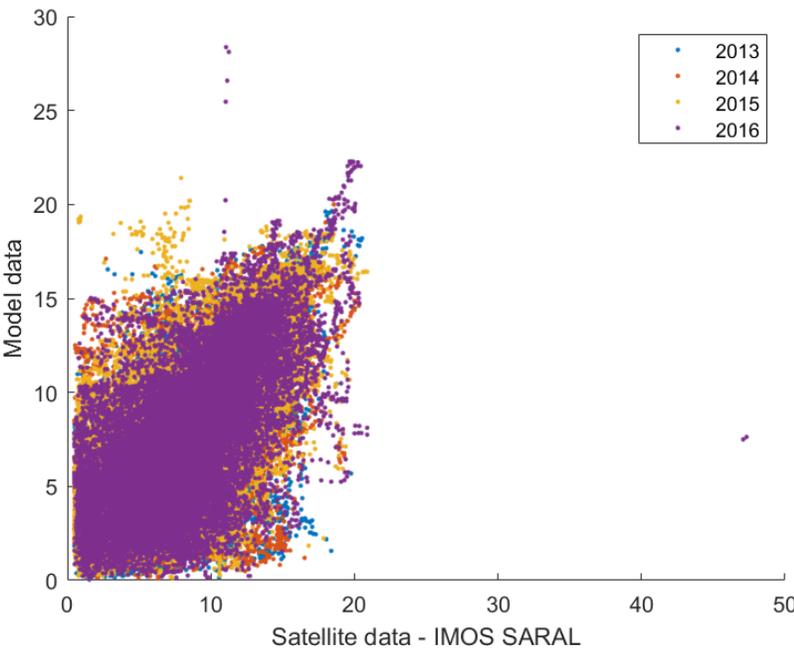
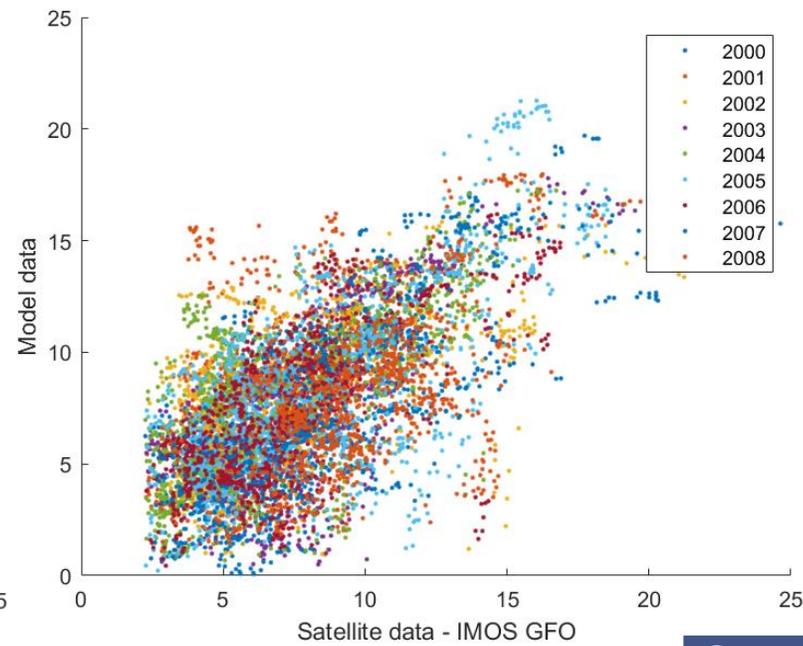
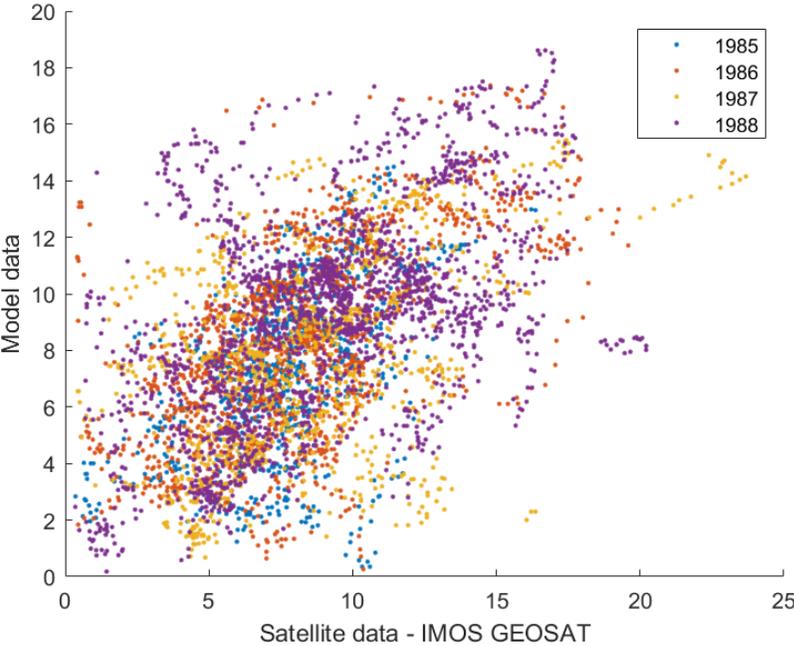
- ✓ **Повторяемость высоких скоростей ветра** по модельному архиву COSMO-CLM **возрастает** по сравнению с реанализом ERA-Interim.
- ✓ **Средние ошибки** воспроизведения **скорости ветра** модельным архивом COSMO-CLM по сравнению со станционными данными составляют +2 м/с, а для **95% процентов** – до -5 м/с. На станциях, где ошибки более существенны, отмечается **завышение скорости ветра** модельным архивом в среднем **на 0,5 – 2 м/с**.
- ✓ Сопоставление 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 снимкам спутниковых радаров SAR показал, что модельный архив 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 экстремальных скоростей ветра, **превышающих 15 и 20 м/с (γ-масштаб)**.
- ✓ **Дальнейшие планы**: **продление** модельного архива до **2019 г.**, больше данных в открытый доступ; анализ случаев и климатологии **подветренных бурь, полярных мезоциклонов** на спутниковых данных по всей модельной области (QuikSCAT, ASCAT и др.); сравнение с другими массивами данных (**ERA5, CARRA, ASR** и др.); **оценка трендов скорости ветра**; проведение экспериментов на вложенных сетках **с более высоким разрешением**; и др.

Дополнительные слайды

Статистика 'added values'

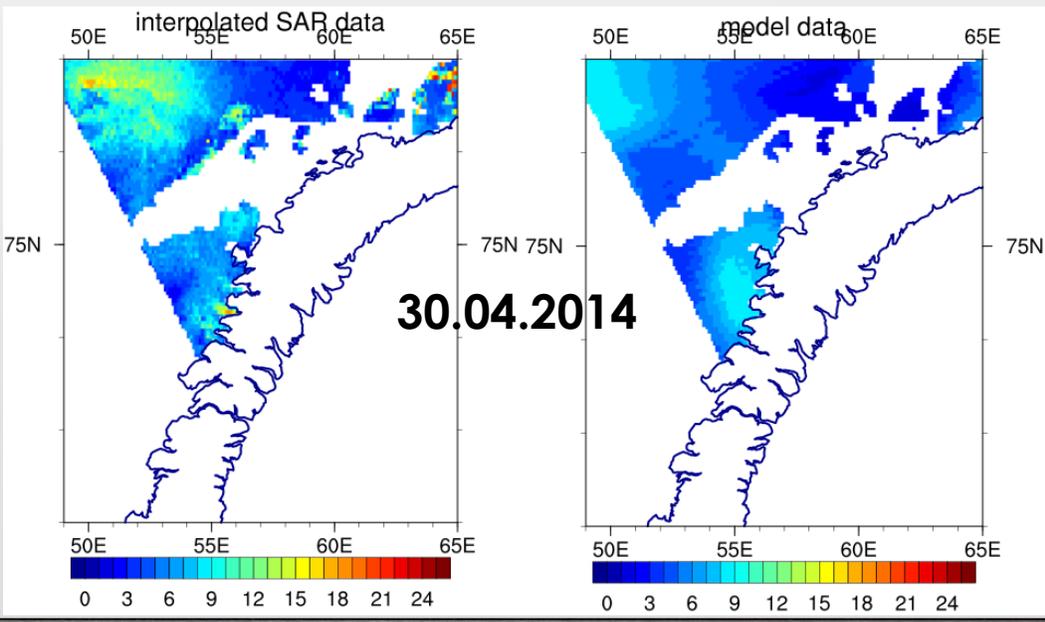
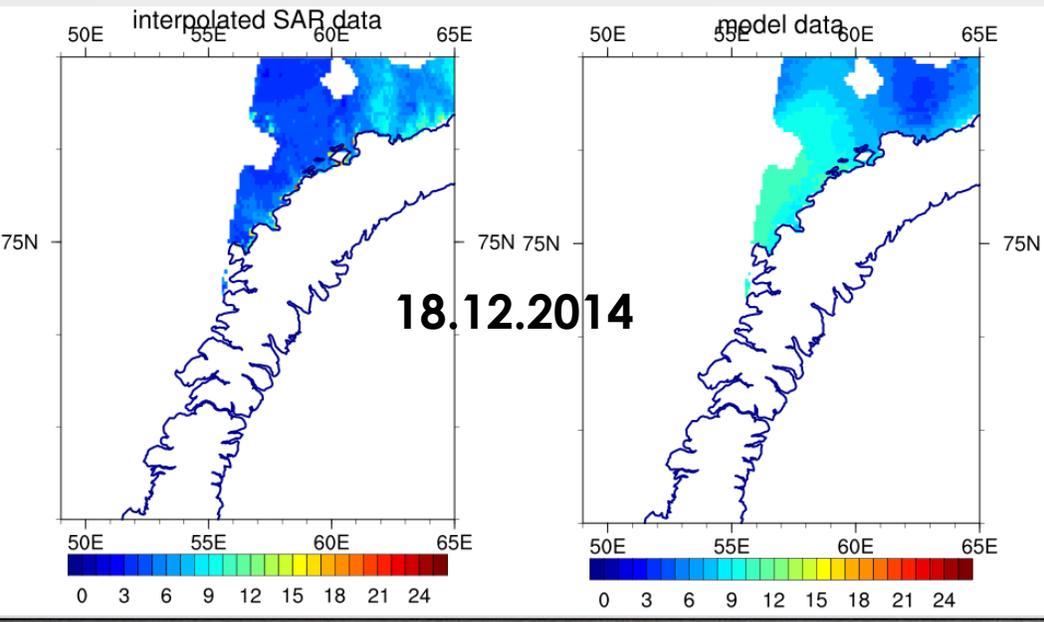
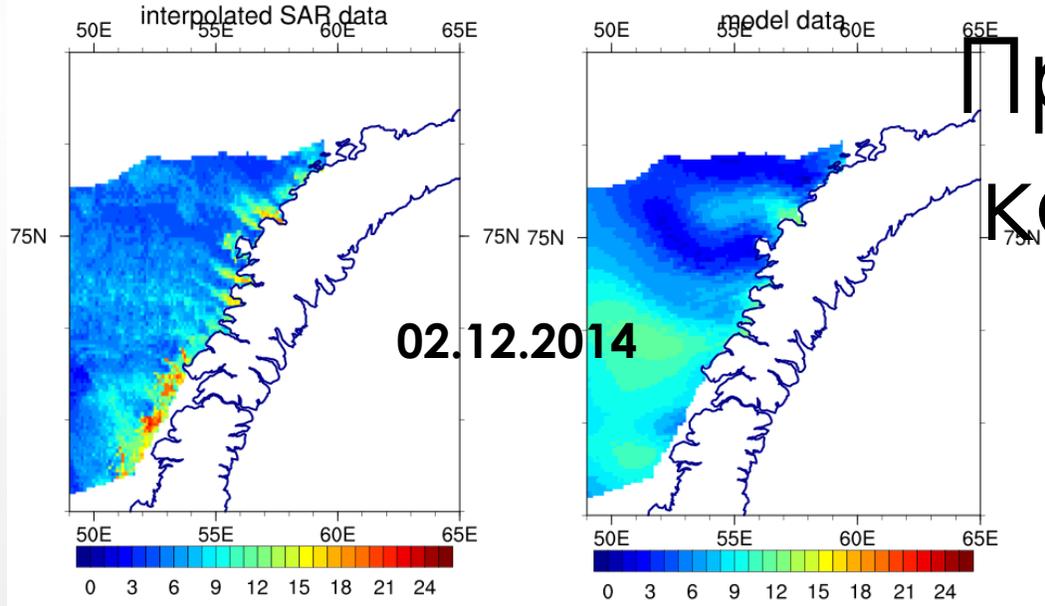
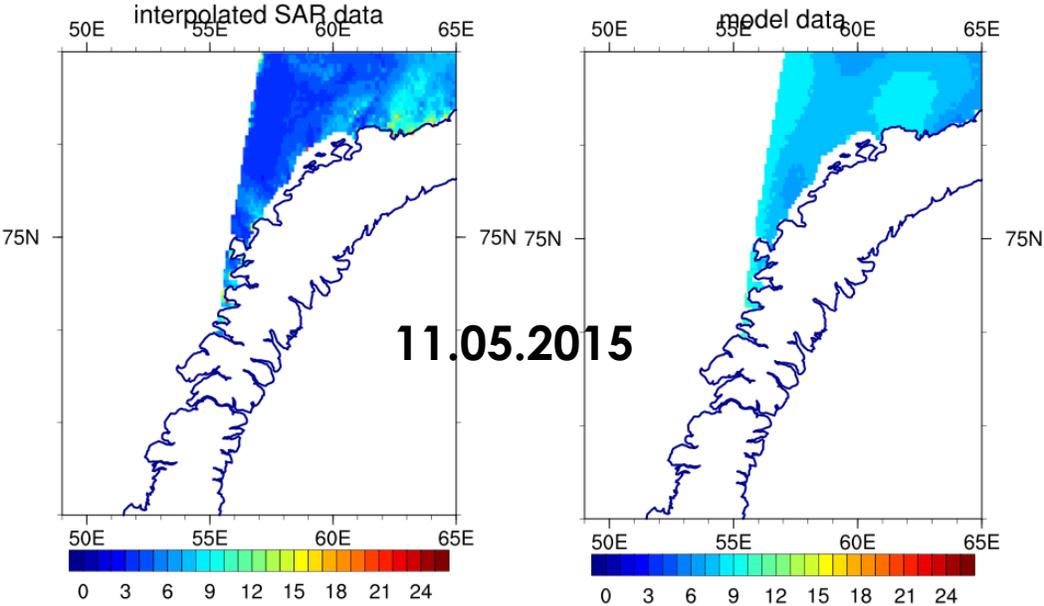
Переменная, период	Средняя разность, вся область	Средняя разность, континенталь ные узлы	Средняя разность, морские узлы	1% процентиль разности, вся область	99% процентиль разности, вся область
VEL_10M, 1980–1990	0.13	0.34	-0.14	-1.63	2.22
VEL_10M, 2010–2016	0.14	0.37	-0.13	-1.63	2.19
VEL_10M, 1980–1990 (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

Сравнение с альтиметрами

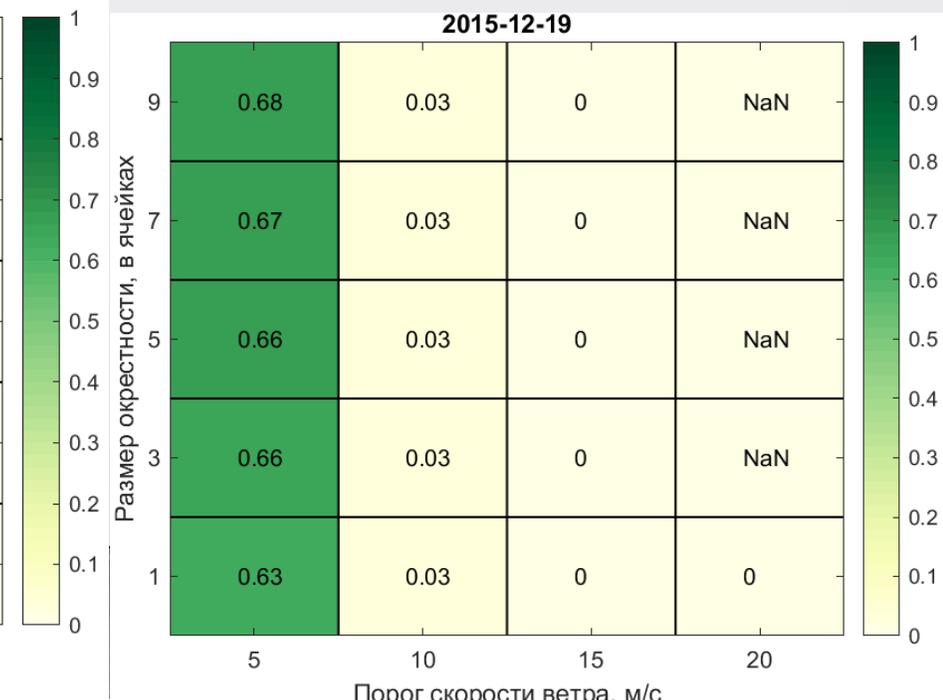
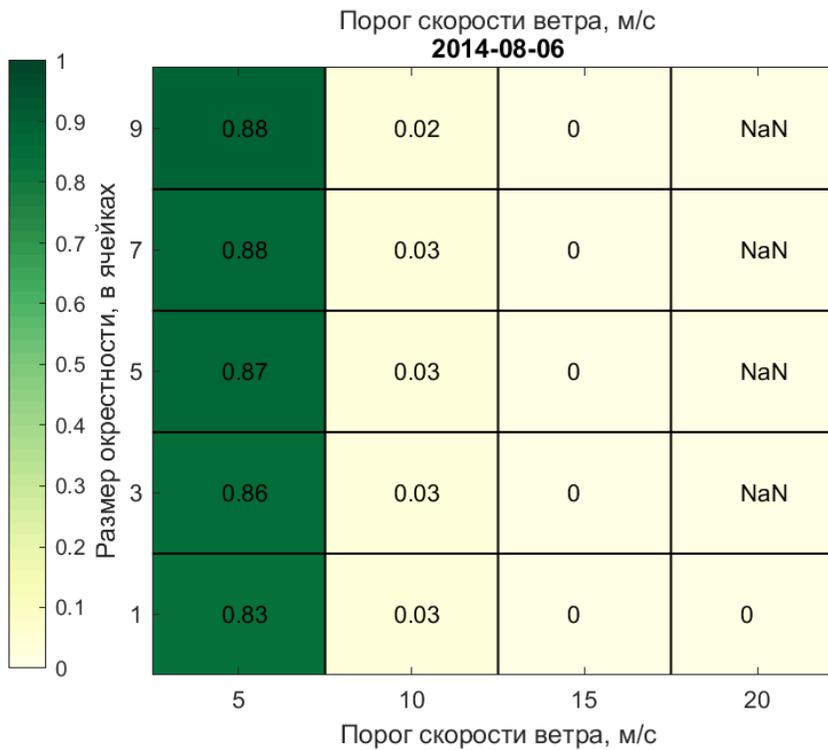
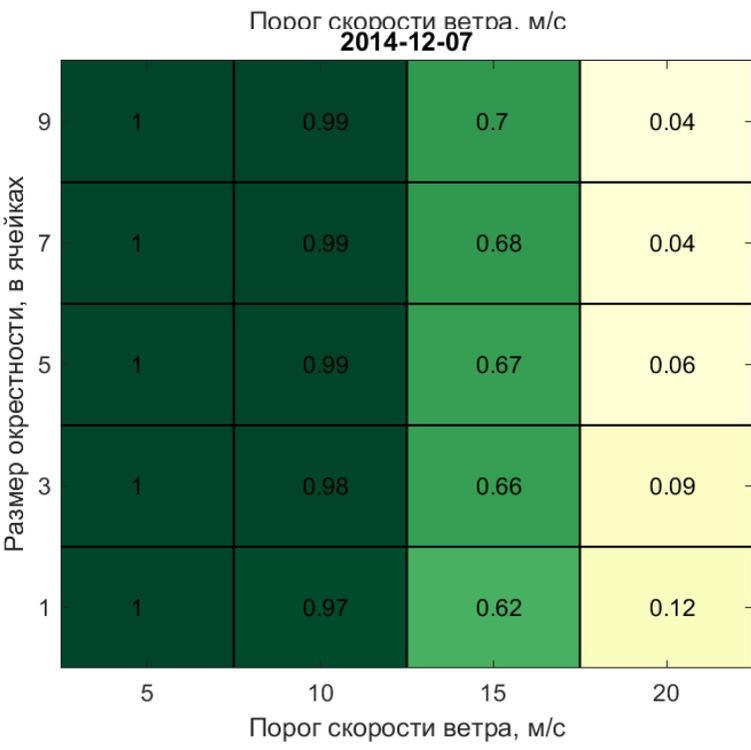
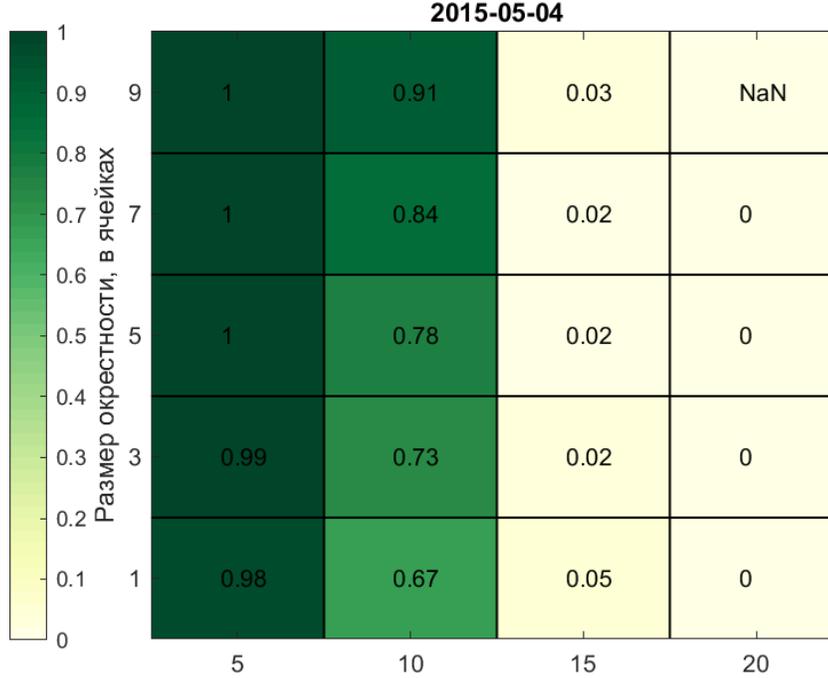
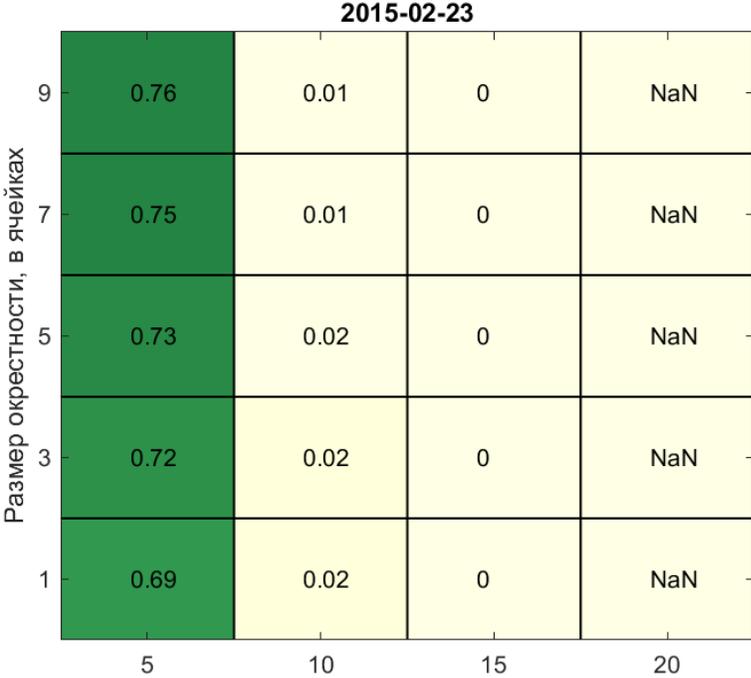


Спутник	Широты	Долготы	Доступный период данных
CRYOSAT	63°- 82°	20°- 105°	2010 - 2018
ENVISAT	65°- 82°	20°- 102°	2002 - 2012
ERS (ERS-1, ERS-2)	63°- 82°	20°- 105°	1991 - 2009
GEOSAT	63°- 72°	20°- 76°	1985 - 1988
GFO	63°- 72°	20°- 103°	2000 - 2008
SARAL	63°- 82°	20°- 105°	2013 - 2019
SENTINEL	63°- 82°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

Примеры карт SAR



Примеры графиков FSS



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 зона релаксации в 10 модельных узлов была отброшена с каждой стороны модельной области.

Перечень тестовых экспериментов

Обозначение эксперимента	Версия модели	Реанализ (форсинг)	приспос обление	Спектральн ый 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
COSMO_interim_sn_v505_long	5.05	ERA-Interim	Yes	Yes	Modified

Тестовые эксперименты

Краткое сравнение статистики

Конфигурация эксперимента	Декабрь – январь 2012 – 2013 гг.			Август – сентябрь 2015 г.		
	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

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
COSMO_er_a5	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_er_a5_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_er_a5_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_er_a5_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_er_a5_sn_v50_5	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_sn	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_v50_5	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 (**lffd***), за исключением **подповерхностных переменных** в почве (>2.5 см), которые заменялись из **данных реанализа** (из **laf***).

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

→ **lffd\${YEAR}\${MONTH+1}0100.nc**

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

← **laf\${YEAR}\${MONTH+1}0100.nc**

→ **lffd\${YEAR}\${MONTH+2}0100.nc**

И т. д. ...

← **laf\${YEAR}\${MONTH+2}0100.nc**

→ **lffd...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)		

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

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