

Влияние облачно-радиационных и аэрозольно-радиационных связей на точность воспроизведения атмосферной циркуляции моделью ПЛАВ



Фадеев Р. Ю., Толстых М. А., Бирючева Е.О.,
Гойман Г.С.

ИВМ РАН
Гидрометцентр России
МФТИ

e-mail: rost.fadeev@gmail.com

8 апреля 2026

ИФА-70, Кисловодск

Развитие ПЛАВ в части описания радиационных потоков и аэрозолей



Радиационный блок

Clirad – коротковолновая часть спектра.

Уравнение переноса радиации в двухпоточковом приближении дельта-Эддингтона; 11 спектральных диапазонов; перекрытие облаков: бинарное или предвычисленное (в предположении максимального перекрытия в пределах трех ярусов).

Rrtmglw – длинноволновая часть спектра.

Интерполяция табличных данных, рассчитанных для всех линий поглощения с учетом фактической температуры и давления; 16 спектральных интервалов; перекрытие облаков: максимальное, максимально-случайное, экспоненциальное, максимально-случайное или бинарное.

ecCKD - блок описания распространения радиации, оптимизированный rrtmg.

Аэрозольный блок

Tegen - двумерное поле данных об оптической толщине с горизонтальным разрешением 5x4. 4 типа аэрозолей.

MacV2 - Max Planck Aerosol Climatology version 2 -

Двумерное поле данных о aod, ssa, asy с горизонтальным разрешением 1x1.

Типы аэрозолей: Dust Aerosol (0.03 - 0.55 μm , 0.55 - 0.9 μm , 0.9 - 20 μm), Hydrophilic Black Carbon Aerosol, Hydrophilic Organic Matter Aerosol, Hydrophobic Black Carbon Aerosol, Hydrophobic Organic Matter Aerosol, Sea Salt Aerosol (0.03 - 0.5 μm , 0.5 - 5 μm , 5 - 20 μm), Sulphate Aerosol.

CAMS - Copernicus Atmosphere Monitoring Service

Трехмерное поле данных о массовой доле аэрозоля с горизонтальным разрешением 0.75x0.75 и 25 уровнями по вертикали.

Типы аэрозолей – как в MacV2

Исследуемые конфигурации

ПЛАВ072L96

Горизонтальное разрешение — $0.9^\circ \times 0.72^\circ$.

Число уровней по вертикали — 96.

Область применения:

- долгосрочный (до 4 месяцев) и
- субсезонный (до 6 недель) прогноз аномалий погоды.

Методология исследования

Осредненные характеристики модельной атмосферы в сравнении с ERA5.

Продолжительность расчета — 5 лет (с 30.10.1995 до 1.11.2000). Температура поверхности океана и концентрация морского льда — ERA5.

Долгосрочные прогнозы аномалий погоды на зиму и лето за период с 1991 по 2015 гг.

Заблаговременность прогноза - 4 месяца. Размер ансамбля — 20 участников. Старт зимнего прогноза — 30 октября, летнего — 30 апреля. Температура поверхности океана — затухающие аномалии.

Воздействие аэрозолей - только прямые эффекты.

ПЛАВ10

Горизонтальное разрешение — $0.1^\circ \times 0.08-0.13^\circ$.

Число уровней по вертикали — 104.

Область применения:

- среднесрочный (до 10 дней) прогноз погоды,
- прогноз погоды для гражданской авиации (до 24 часов).

Изменение в точности среднесрочных прогнозов по ПЛАВ10 в сравнении с ее оперативной версией.

Оценка точности проводится по 24 прогнозам: два прогноза на месяц за период с октября 2024 по сентябрь 2025 г.

Ошибка рассчитывается по отношению к анализу и измерениям на метеостанциях.



Осредненное поле солнечного излучения на поверхности Земли: в ПЛАВ, ERA5 и их разность

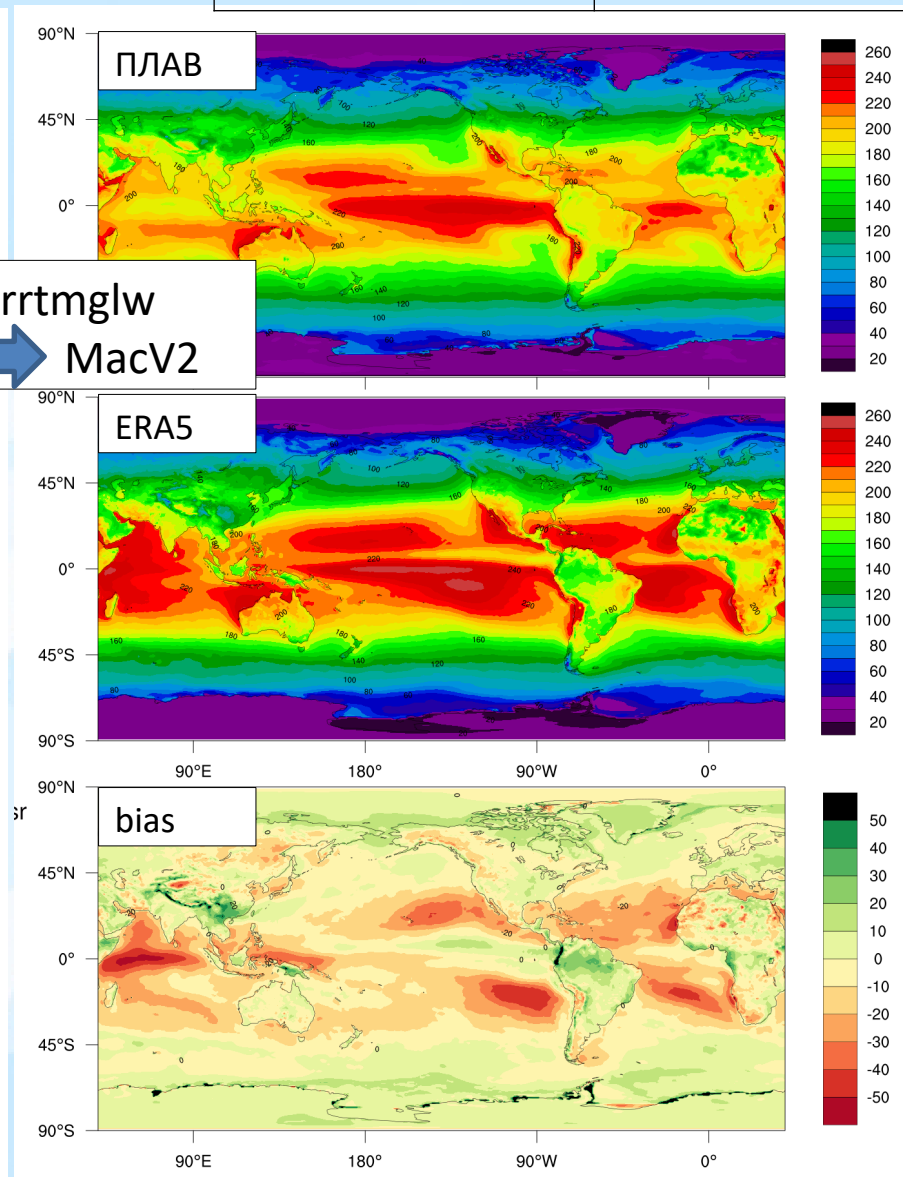
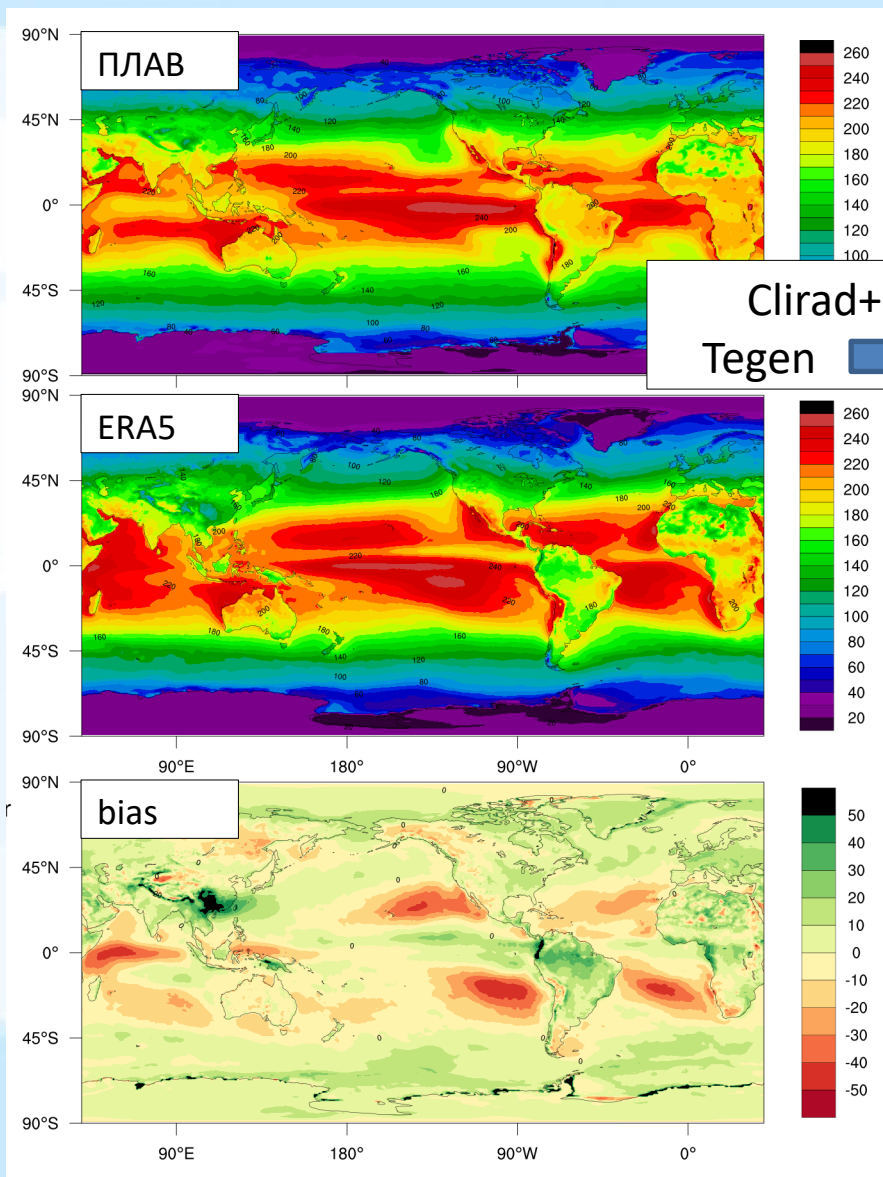
Среднегодовые интегральные потоки тепла на поверхности:

Solar: 163.2 > 157.4

Latent: -87.2 > -89.2

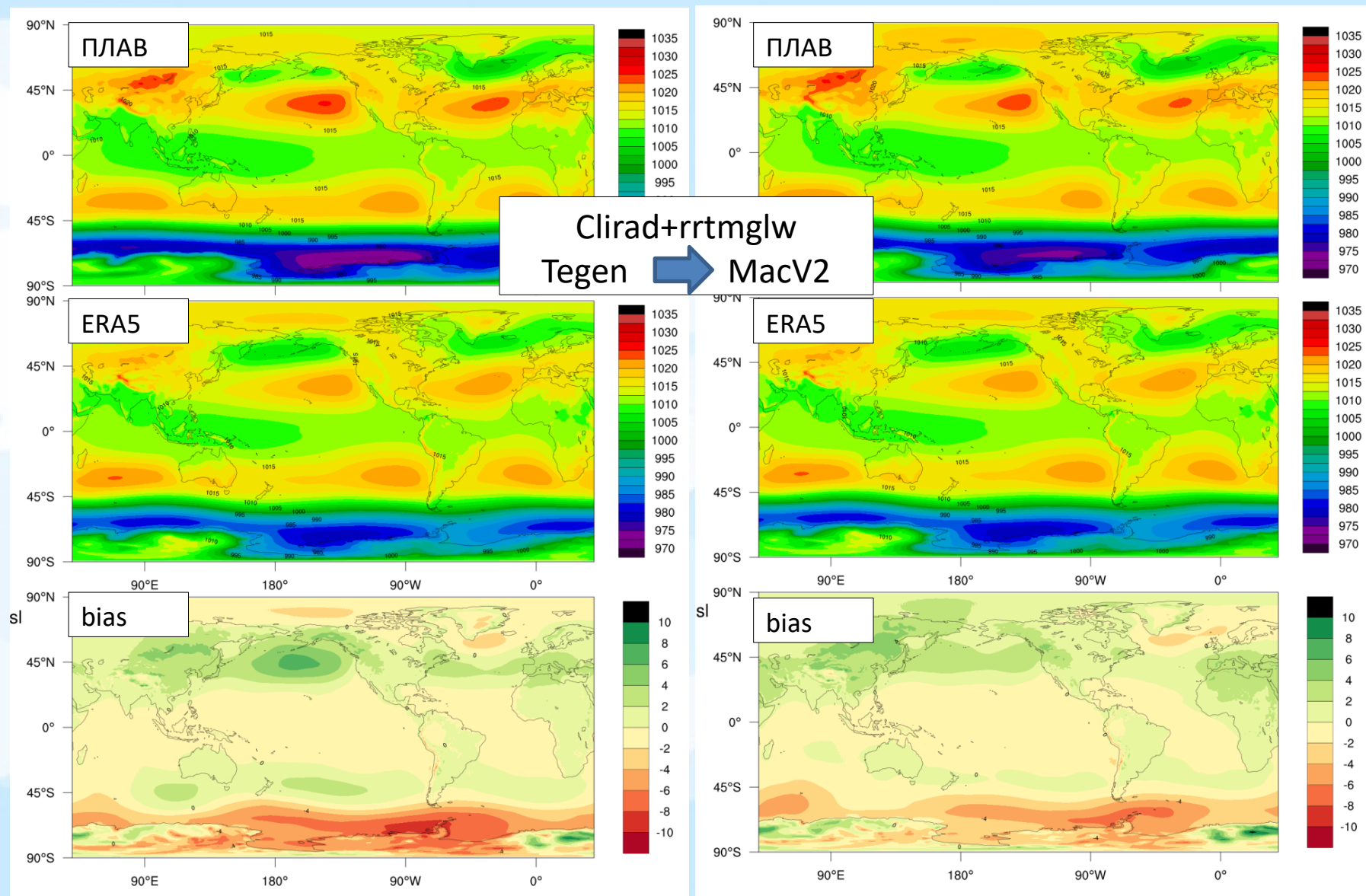
Thermal: -57.7 > -54.4

Sensible: -16.9 > -18



Ctirad+rrtmg1w
Tegen → MacV2

Осредненное поле давления на уровне моря: в ПЛАВ, ERA5 и их разность



Изменение в % осредненных за 5 лет характеристик модельной атмосферы в ПЛАВ072L96 по сравнению с ПЛАВ2021.

Оперативная вер.
есCKD + cams
Опытные конфигурации

	c70p2	ec06a	ec06b	cec12f	cec15b	
sh		1.08	-1.60	-7.55	-3.02	Поток явного тепла на поверхности
lh		7.10	-3.62	-15.9	-15.5	Поток скрытого тепла на поверхности
tr		-2.27	-12.4	-10.0	-6.49	Поток теплового излучения на поверхности
sr		4.16	5.29	1.70	1.37	Поток солнечного излучения на поверхности
wind10m_v		7.23	4.59	0.93	2.87	Скорость ветра на высоте 10м.
wind10m_u		5.30	-3.17	-5.69	-3.62	
cld_haut		18.7	0.64	8.16	26.2	Балл облачности по ярусам
cld_total		30.8	9.52	2.38	23.8	
cld_basse		5.86	4.83	13.6	20.2	
MTP_250		-11.3	35.8	-27.2	-28.2	Температура на высоте 250 гПа
MTP_500		-1.72	25.7	-19.0	-21.6	500 гПа
MTP_850		-8.18	0.47	-2.78	-2.24	850 гПа
MVP_250		11.3	4.48	-0.58	-0.21	Компоненты скорости
MVP_500		11.0	5.92	1.72	1.35	ветра на высотах
MVP_850		6.70	-0.34	-4.63	-4.08	
MUP_250		9.42	1.08	-2.66	-4.82	
MUP_500		15.0	2.78	-2.93	-1.56	
MUP_850		12.9	0.67	-2.46	2.25	Геопотенциал
MGHP_250		-2.73	31.5	-16.9	-16.6	
MGHP_500		5.1	26.2	-3.73	-1.27	
MGHP_850		4.20	2.36	-5.42	-3.67	
mslp		-2.17	-4.70	-12.9	-8.54	Давление на уровне моря
precip		8.29	-2.27	-13.3	-13.1	Осадки

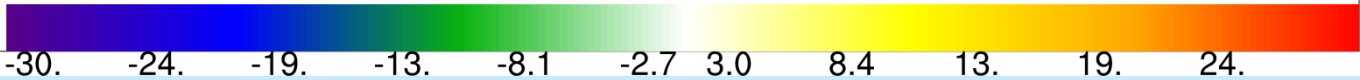
Среднегодовые интегральные потоки тепла на поверхности:

Solar: 166.2

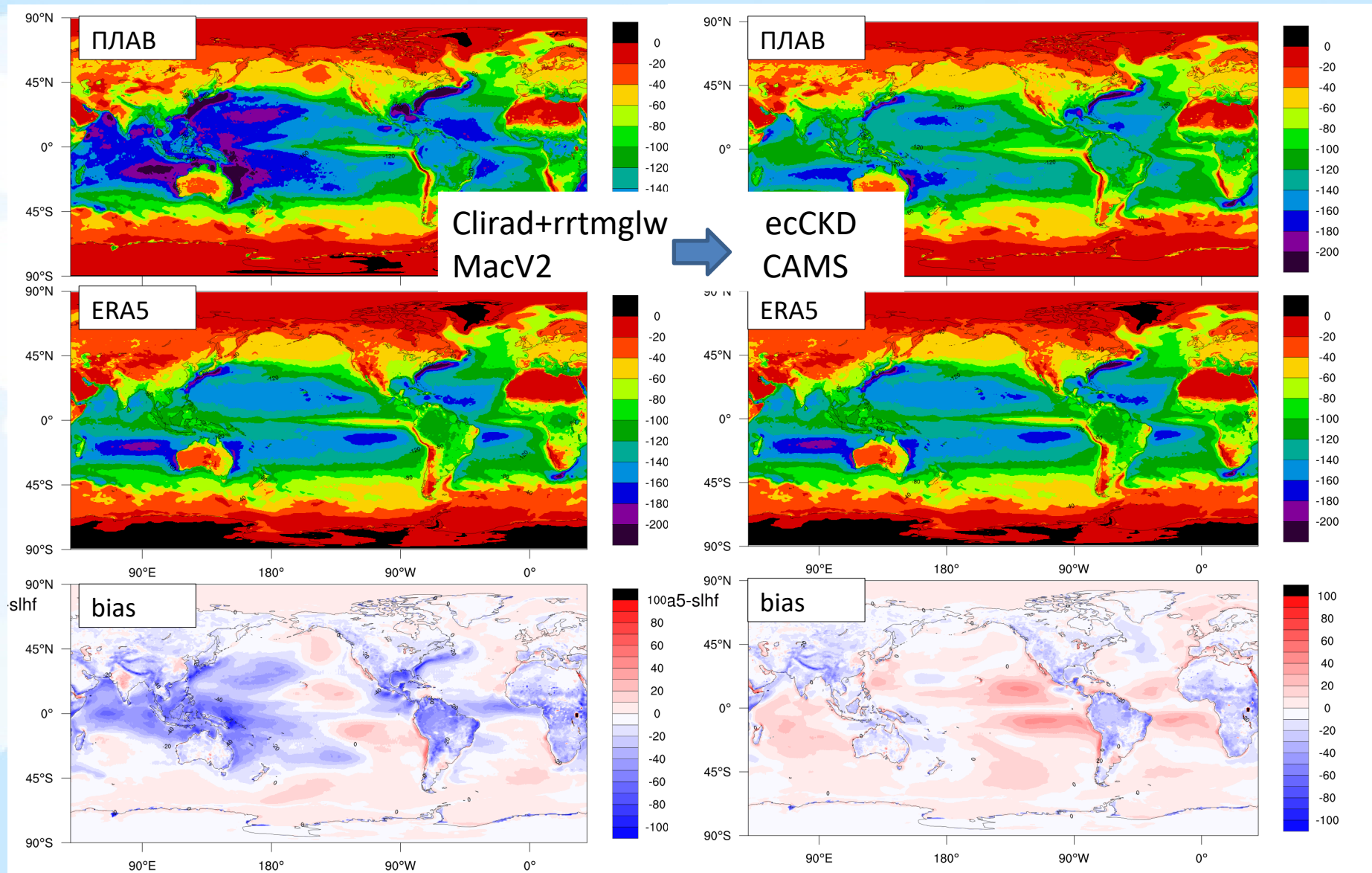
Thermal: -61.6

Latent: -85.8

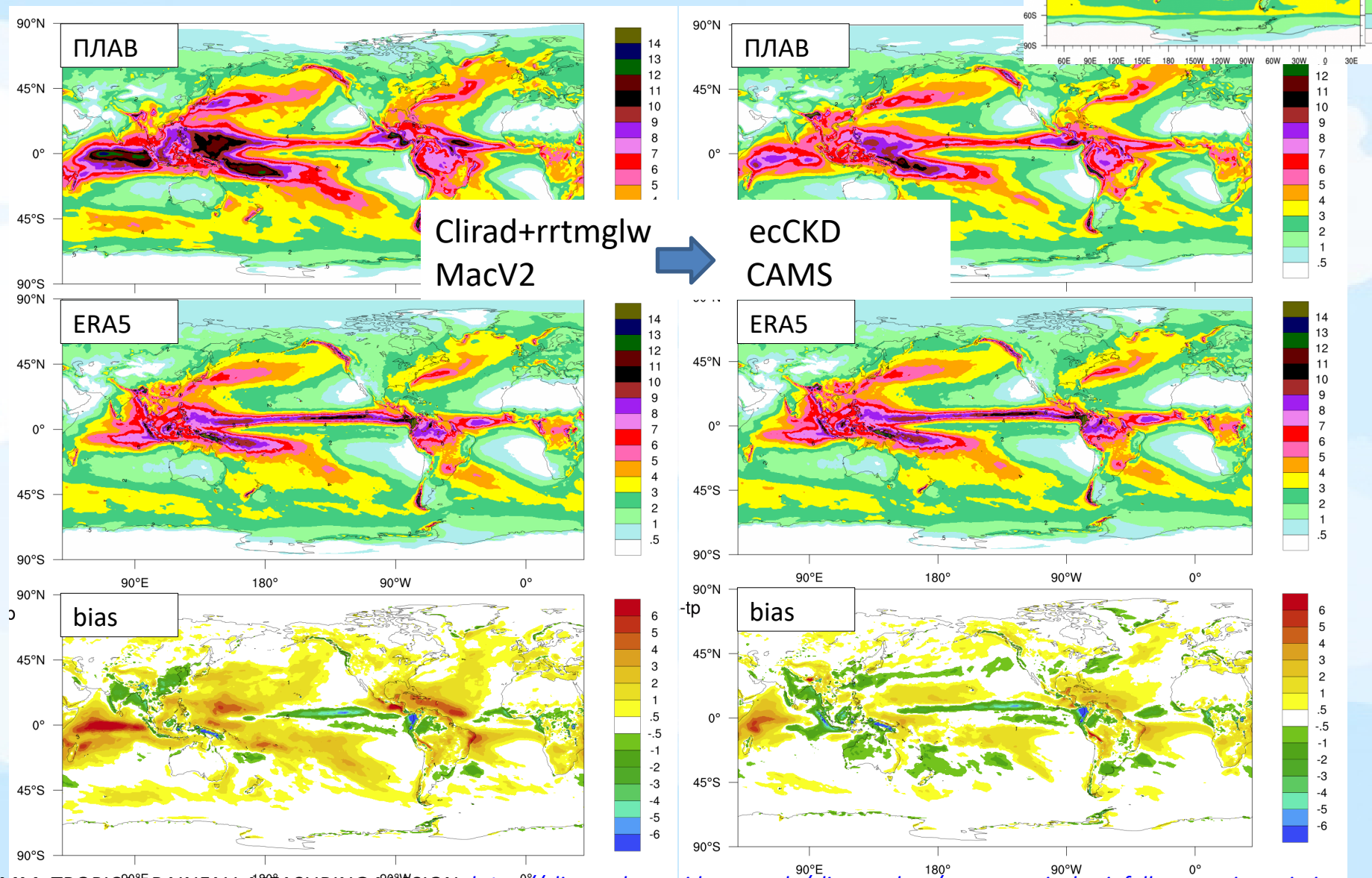
Sensible: -17.6



Осредненное поле потока скрытого тепла на поверхности Земли: в ПЛАВ, ERA5 и их разность



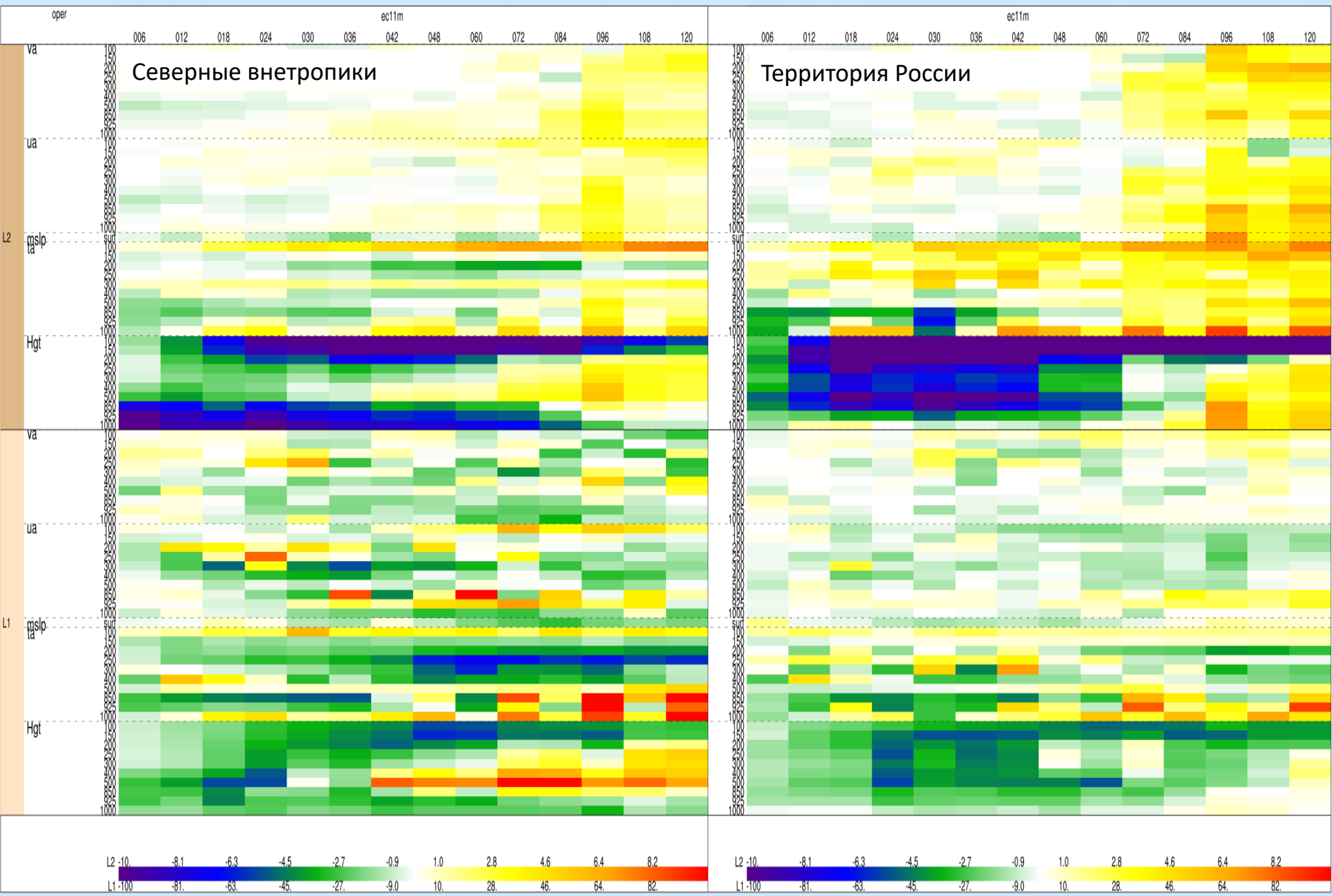
Осредненное поле осадков на поверхности Земли: в ПЛАВ, ERA5 и их разность



Изменение в точности долгосрочных прогнозов по ПЛАВ072L96 в сравнении с оперативной версией (1991-2015 гг., 20 участников ансамбля).

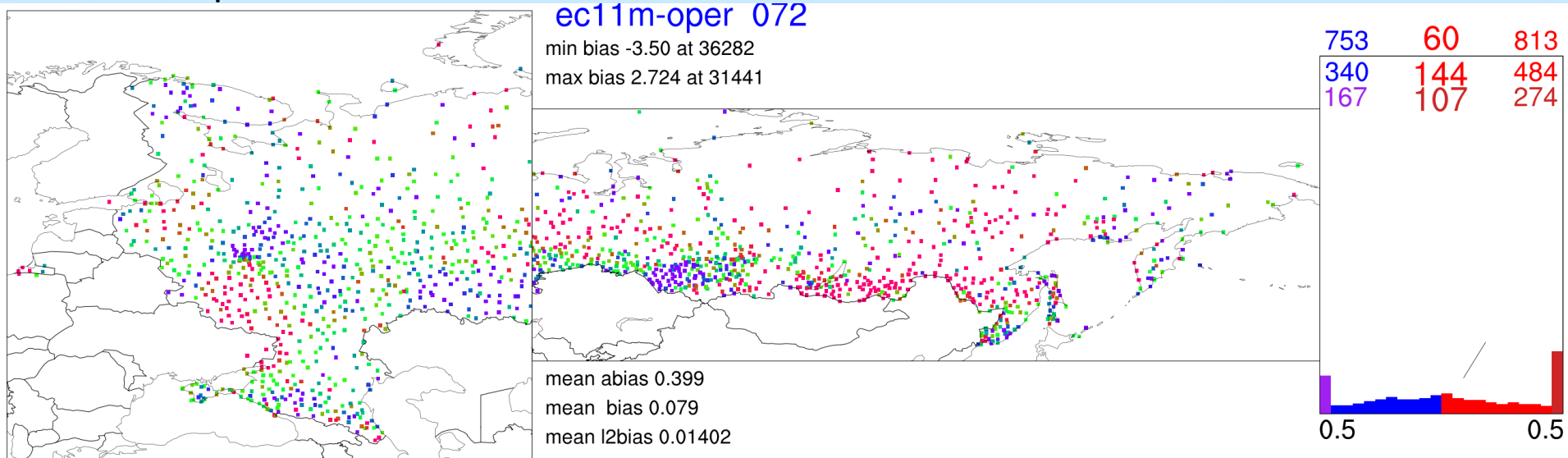
		Опер. вер., зима				Новая вер., зима				Опер. вер., лето				Новая вер., лето			
bias	BIAS	T2M	GLOB	0.10	0.35	227.	T2m	0.40	0.38	-7.0							
			TROP	0.14	0.34	130.	0.04	0.30	530.								
			SOUT	0.05	0.14	178.	0.64	0.53	-17.								
			NORT	0.52	0.55	55.5	0.59	0.23	-52.								
		SLP	GLOB	0.11	0.08	-26.	0.03	0.04	25.6								
			TROP	0.11	0.68	492.	0.25	0.49	925.								
			SOUT	0.30	0.01	-96.	3.10	2.65	-14.								
			NORT	0.12	0.45	256.	2.72	0.52	-41.								
		PREC	GLOB	0.67	0.30	-54.	0.89	0.60	-55.								
			TROP	1.39	0.61	-56.	1.35	0.49	-28.								
SOUT	0.09		0.00	-93.	0.69	0.49	-22.										
NORT	0.54		0.36	-32.	0.63	0.49	-20.										
H500	GLOB	13.7	2.41	-82.	10.7	8.57	-25.										
	TROP	22.9	16.0	-30.	27.5	20.4	25.0										
	SOUT	12.1	4.27	-64.	20.2	25.3	21.9										
	NORT	6.30	12.5	99.0	25.3	30.8	-42.										
H200	GLOB	39.6	5.05	-87.	35.2	20.1	-51.										
	TROP	79.2	30.1	-62.	83.9	40.6	189.										
	SOUT	20.5	0.97	-95.	10.1	29.2	33.1										
	NORT	20.4	14.6	-28.	33.1	33.1	-62.										
T850	GLOB	0.43	0.51	17.2	0.60	0.22	-84.										
	TROP	0.68	0.57	-16.	0.31	0.04	33.1										
	SOUT	0.24	0.14	-38.	0.49	0.65	-96.										
	NORT	0.41	1.09	162.	1.03	0.03	-16.										
RMSE	RMSE	T2M	GLOB	1.80	1.92	6.19	T2m	2.00	1.67	-6.0							
			TROP	1.22	1.14	-6.4	1.07	1.01	-19.								
			SOUT	1.39	2.56	2.14	2.66	2.15	-14.								
			NORT	2.51	2.70	1.54	1.91	1.63	-16.								
		SLP	GLOB	2.66	1.18	14.8	3.73	3.11	-22.								
			TROP	1.03	2.8	11.5	1.51	1.18	-10.								
			SOUT	2.51	3.43	-5.2	4.83	4.30	-25.								
			NORT	3.62	1.68	-19.	3.95	2.95	-26.								
		PREC	GLOB	2.09	2.38	-22.	2.35	1.73	-33.								
			TROP	3.08	1.11	-18.	3.43	1.25	-16.								
SOUT	1.26		33.3	-2.3	1.74	1.60	-8.0										
NORT	1.37		17.5	-26.	37.7	37.2	-1.3										
H500	GLOB	34.1	35.3	5.99	28.7	21.2	-26.										
	TROP	23.7	40.5	-1.7	46.1	38.3	10.1										
	SOUT	33.3	50.3	-27.	34.7	56.7	-20.										
	NORT	41.2	36.0	-55.	70.9	42.3	-50.										
H200	GLOB	69.3	53.6	-9.9	62.6	61.1	3.20										
	TROP	81.3	56.7	-11.	86.3	1.51	-7.5										
	SOUT	59.5	1.64	7.45	62.6	0.87	-14.										
	NORT	64.1	1.04	-9.3	59.2	2.04	5.62										
T850	GLOB	1.52	1.5	3.02	1.63	1.34	-24.										
	TROP	1.15	2.15	14.4	1.02	0.24	20.6										
	SOUT	1.45	0.23	-26.	1.93	0.38	9.51										
	NORT	1.88	0.22	1.79	1.77	0.20	51.7										
Corr. Anom.	CORR_A	T2M	GLOB	0.31	0.22	1.79	T2m	0.20	0.24	2.98							
			TROP	0.43	0.19	-36.	0.14	0.16	15.3								
			SOUT	0.22	0.20	-33.	0.44	0.41	-5.4								
			NORT	0.30	0.56	2.00	0.13	0.14	2.91								
		SLP	GLOB	0.54	0.07	-67.	0.08	0.14	75.3								
			TROP	0.23	0.21	-21.	0.14	0.20	40.0								
			SOUT	0.27	0.33	16.5	0.17	0.26	49.4								
			NORT	0.29	0.40	18.1	0.09	0.07	-20.								
		PREC	GLOB	0.34	0.17	37.3	0.05	0.08	61.1								
			TROP	0.12	0.17	4.24	0.13	0.17	29.1								
SOUT	0.16		0.20	-19.	0.16	0.20	25.1										
NORT	0.25		0.19	-16.	0.17	0.20	19.7										
H500	GLOB	0.18	0.21	-6.9	-0.0	0.06	-709.										
	TROP	0.23	0.30	9.38	0.17	0.19	12.5										
	SOUT	0.27	0.57	3.40	0.37	0.39	5.55										
	NORT	0.22	0.20	-6.2	0.18	0.22	24.5										
H200	GLOB	0.22	0.25	11.8	0.04	0.07	77.4										
	TROP	0.24	0.21	-13.	0.13	0.15	18.1										
	SOUT	0.26	0.26	2.29	0.27	0.26	-5.7										
	NORT	0.14	0.16	13.8	0.13	0.19	40.2										
T850	GLOB	0.25	0.19	-24.	0.02	0.04	95.6										
					May 0.55 0.54 Jun 0.19 0.19 Jul -0.1 -0.1 Aug -0.2 -0.2 time_corr -0.07 -0.06 3mon_ave -0.06 -0.03 spat_corr 0.929												
					May 0.56 0.54 Jun 0.28 0.32 Jul 0.09 0.08 Aug -0.0 0.03 time_corr 0.136 0.161 3mon_ave 0.213 0.254 spat_corr 0.936												

Изменение в точности среднесрочных прогнозов по ПЛАВ10 в сравнении с оперативной версией (24 прогноза).

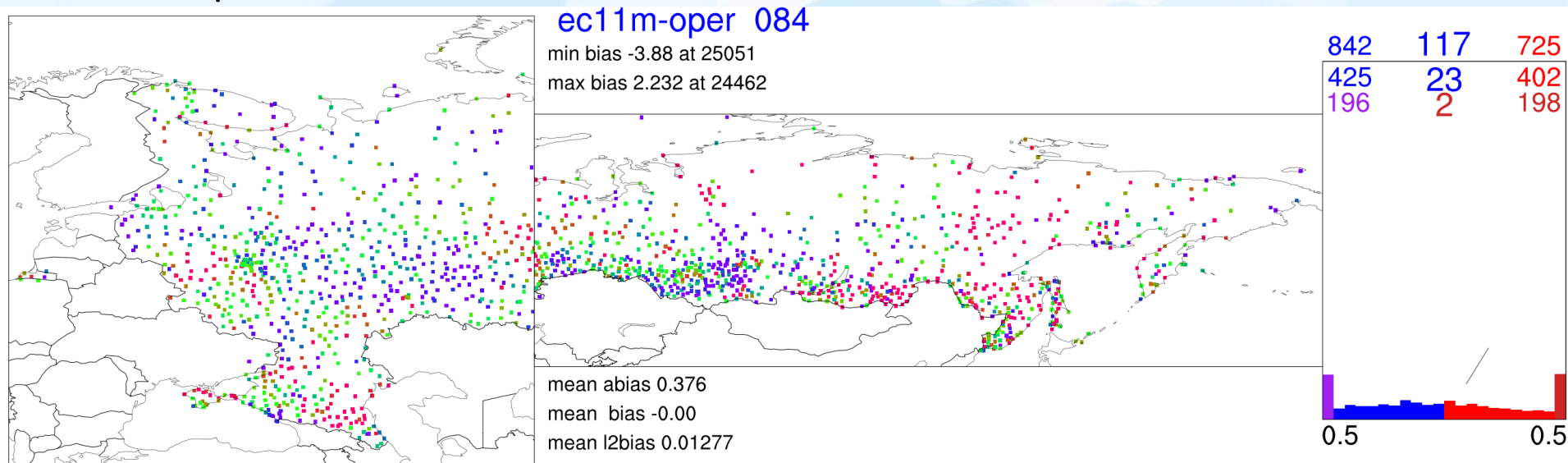


Изменение в точности среднесрочных прогнозов по ПЛАВ10 в сравнении с оперативной версией (24 прогноза) по метеостанциям РФ.

Заблаговременность 72 часа



Заблаговременность 84 часа



Выводы

- 1) В программный код ПЛАВ интегрирована возможность расчета радиационных потоков коротко и длинноволновой частей спектра на основе пакета esCKD.
- 2) Наряду с tegen и MACv2 в ПЛАВ теперь можно использовать климатологию аэрозолей на базе реанализа CAMS.
- 3) ПЛАВ072L96 в версии с esCKD и CAMS сконфигурирована и показывает повышение точности долгосрочных прогнозов.
Для ПЛАВ10 в версии с esCKD и CAMS пока требуются дальнейшие исследования.
Для совместной модели ПЛАВ-NEMO-SI3 предварительные результаты показывают заметное уменьшение ошибки в субсезонных прогнозах на летний период в поле T2м.
- 4) Ведутся работы по внедрению блока переноса аэрозолей на основе оригинальной консервативной схемы (Shashkin et. al, JCP 2016).

Спасибо за внимание!

Ростислав Юрьевич Фадеев

ИБМ РАН, Гидрометцентр России, МФТИ

rost.fadeev@gmail.com

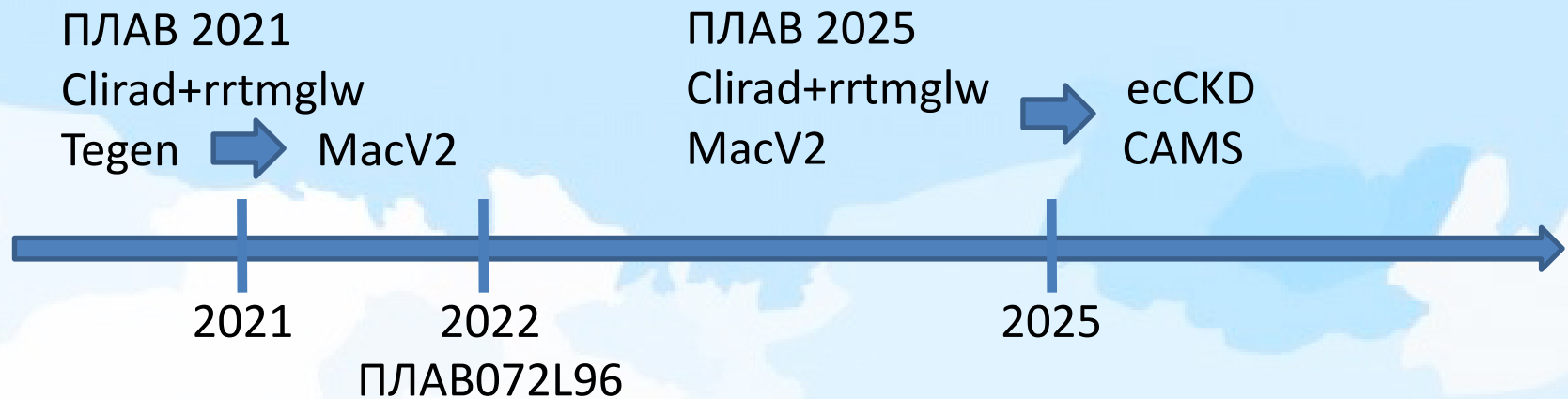
tg: **@rostfa**

Исследование выполнено за счет гранта

Российского научного фонда №25-17-00314,

<https://rscf.ru/project/25-17-00314>.

Методы и подходы



Библиография

Clirad: Tarasova T., Fomin B. The Use of New Parameterizations for Gaseous Absorption in the CLIRAD-SW Solar Radiation Code for Models // J. Atmos. and Oceanic Techn. 2007, Vol. 24, No 6. P. 1157–1162.

Rrtmg-lw: Mlawer E.J., Taubman S.J., Brown P.D., Iacono M.J. and Clough S.A.: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102. P. 16, 663-16, 682.

ecCKD: Hogan R.J., Matricardi M. A Tool for Generating Fast k-Distribution Gas-Optics Models for Weather and Climate Applications // J. Adv. Mod. Earth Sys. 2022. Vol. 14. e2022MS003033 <https://doi.org/10.1029/2022MS003033>

Tegen: Tegen I., Hoorig P., Chin M., Fung I., Jacob D., Penner J. Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: Estimates from model results // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102. P.23895–23915.

CAMS: Inness A., Ades M., Agustí-Panareda A., Barré J., Benedictow A., Blechschmidt A.-M., Dominguez J. J., Engelen R., Eskes H., Flemming J., Huijnen V., Jones L., Kipling Z., Massart, S., Parrington M., Peuch V.-H., Razinger M., Remy S., Schulz M., Suttie M.: The CAMS reanalysis of atmospheric composition // Atmos. Chem. Phys. 2019. Vol. 19. P.3515–3556, <https://doi.org/10.5194/acp-19-3515-2019>.

ПЛАВ072L96: Толстых М.А., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В, Зарипов Р.Б., Травова С.В., Гойман Г.С., Алипова К.А., Мизяк В.Г., Тищенко В.А., Круглова Е.Н. Модель долгосрочного метеорологического прогноза ПЛАВ072L96 // Метеорология и гидрология. 2024. № 7. С. 25-39.