



UNIVERSITY OF CENTRAL ASIA
MOUNTAIN SOCIETIES RESEARCH INSTITUTE

Влияние изменения климата на стихийные бедствия в Кыргызстане и способы их мониторинга и прогнозирования

Исаев Еркин
Научный
сотрудник
PhD

2022

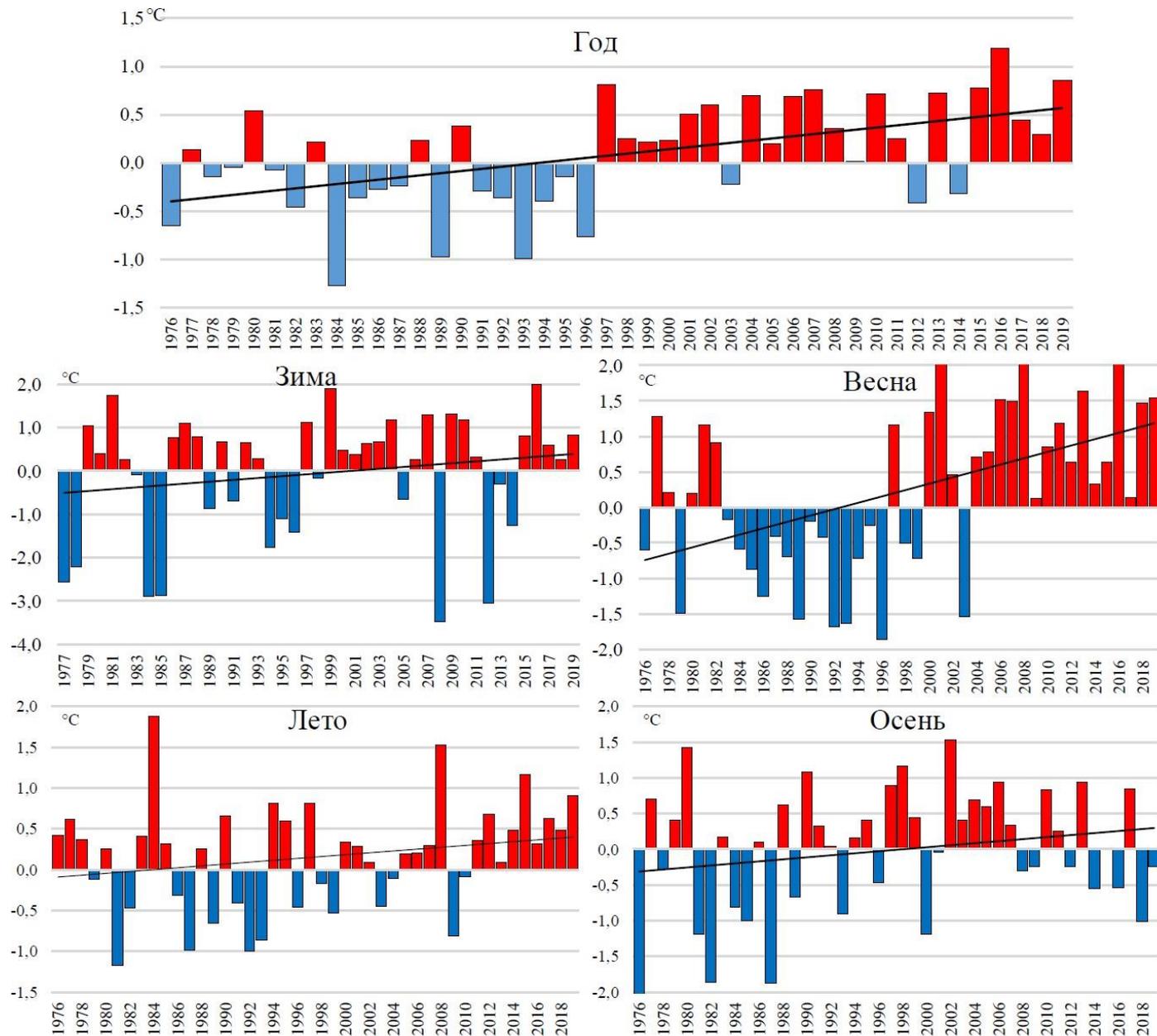
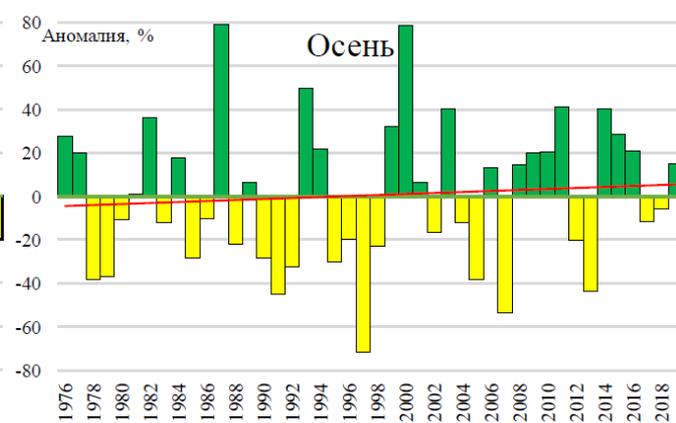
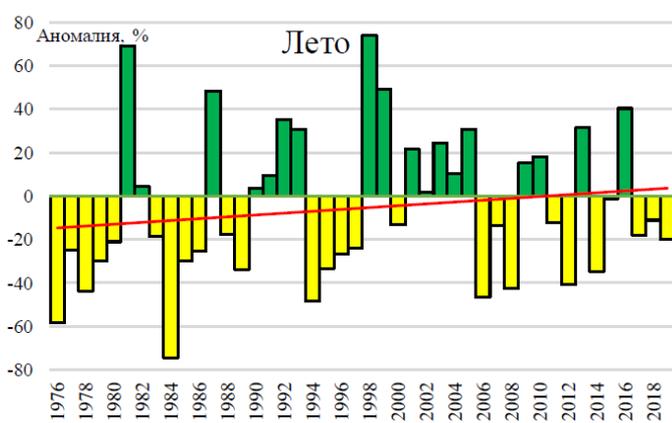
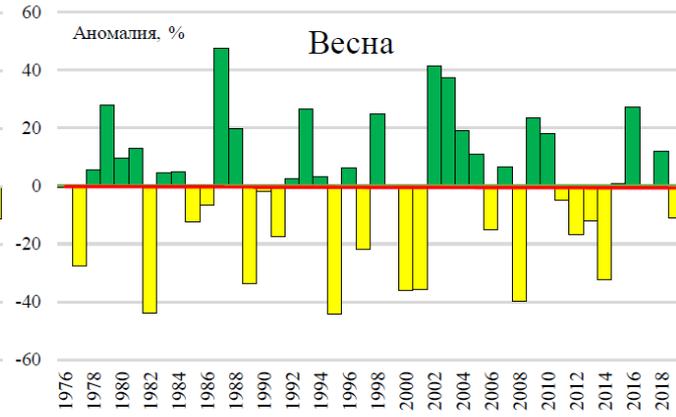
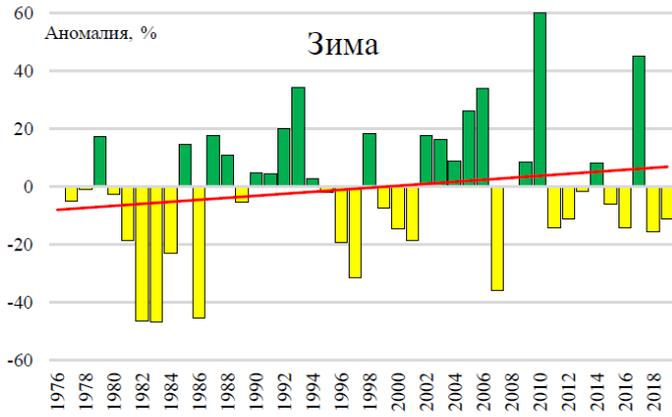
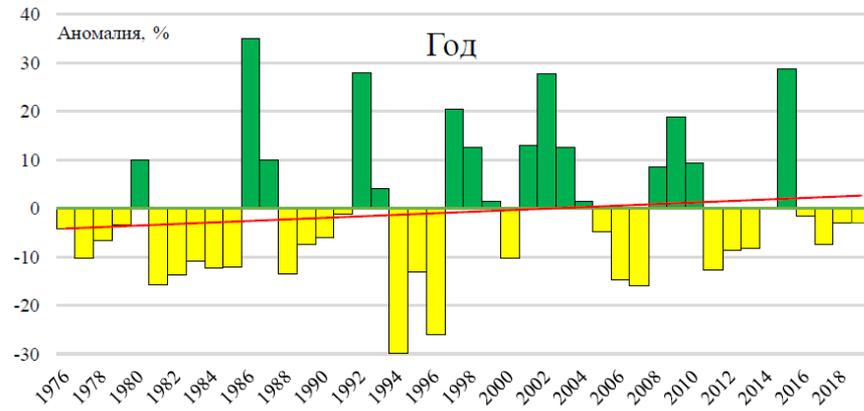
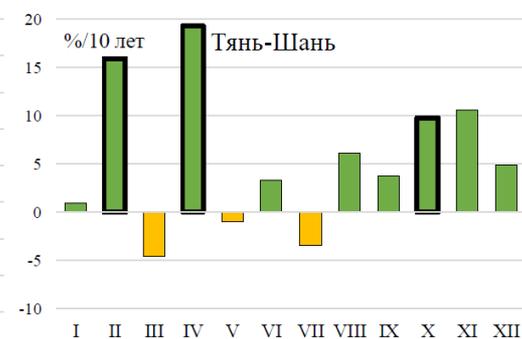
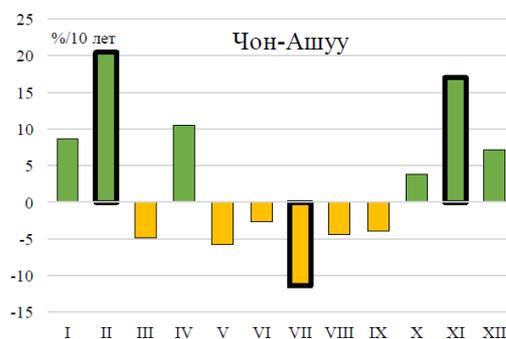
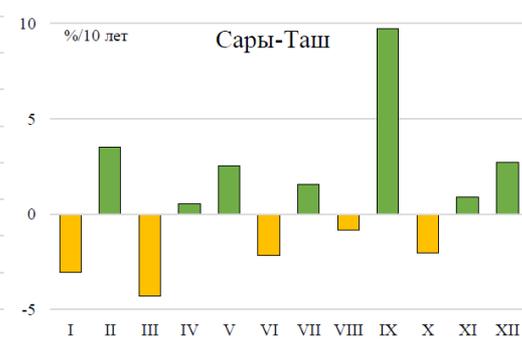
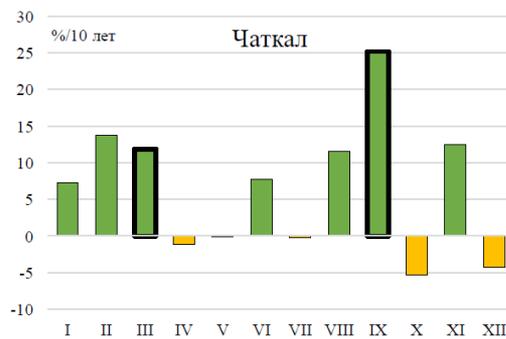
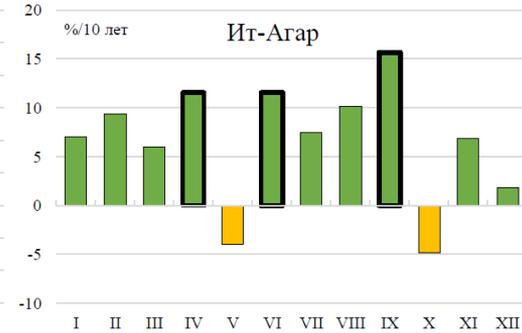
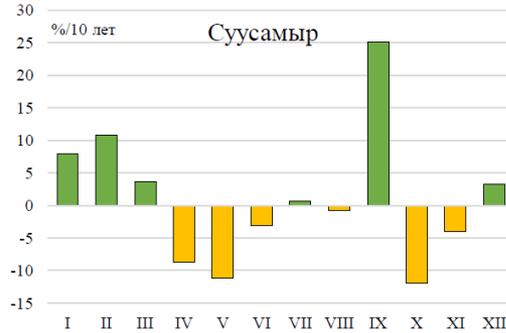
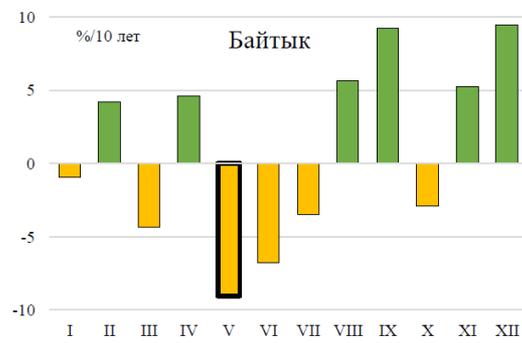
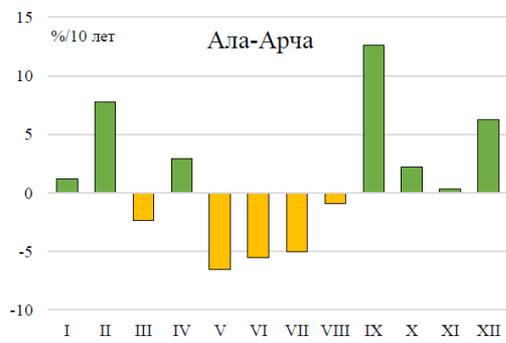


Рисунок 2.1 – Временные ряды аномалий годовых и сезонных температур воздуха (°C), осредненных по территории Кыргызстана за период 1976-2019 гг. Аномалии рассчитаны относительно периода 1981 - 2010 гг. Черная линия- линейный тренд.





Внутригодовое распределение коэффициента линейного тренда (скорости изменения) месячного количества осадков (%/10 лет), рассчитанного по данным наблюдений за период 1976-2019 гг. (месяцы со статистически значимым значением выделены жирной рамкой)

Природные бедствия

Высокогорные озера с риском прорыва

Оползни

Лавины



Сильные ветра

Паводки

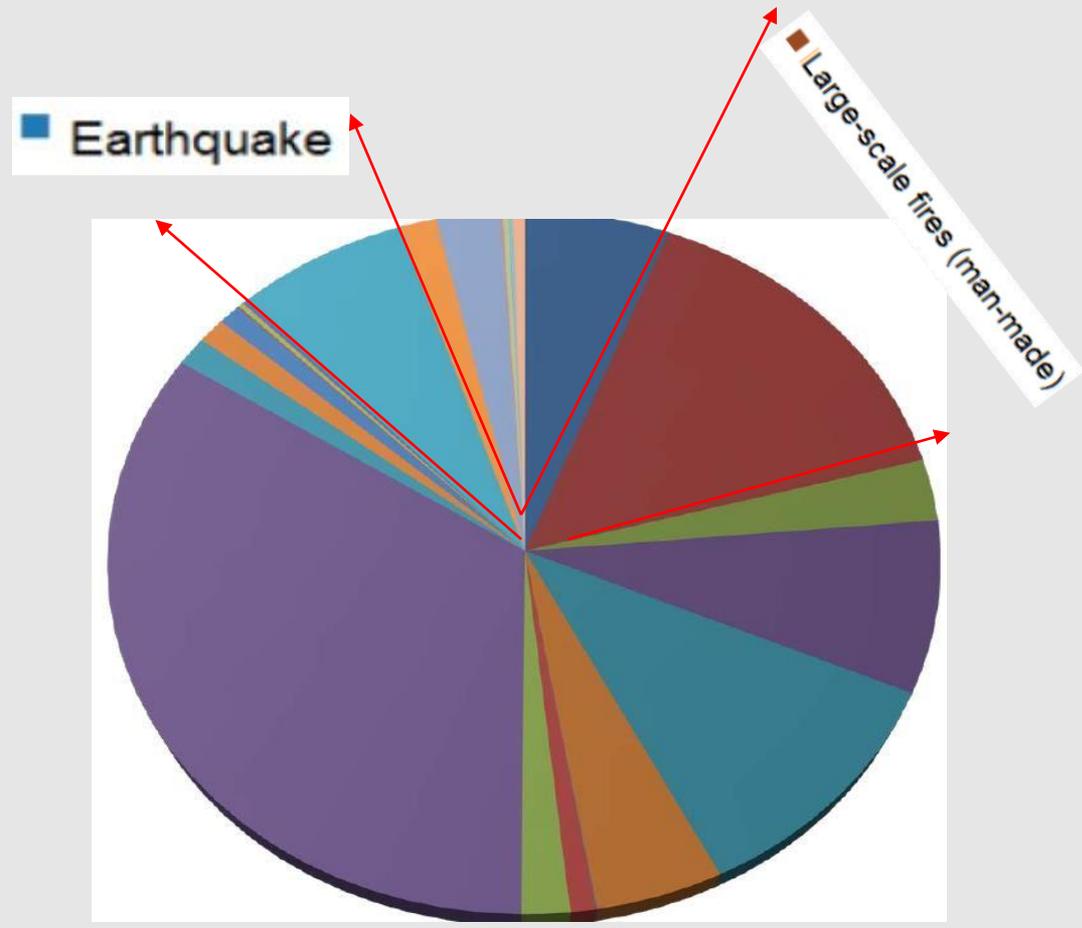
Сели



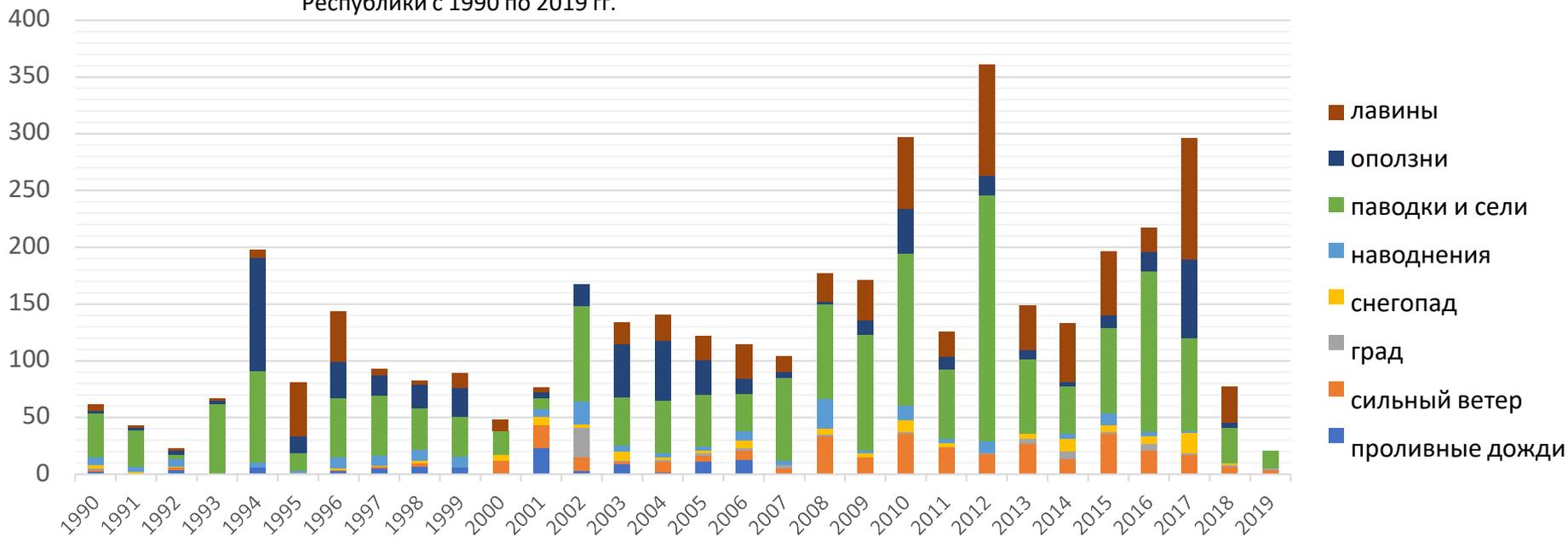
- Около 20% из 1 000 высокогорных озер в стране имеют угрозу прорыва
- 30 000 лавиноопасных участков, 772 из которых представляют непосредственную угрозу для населения и инфраструктуры
- 5 000 оползней, которые представляют угрозу для около 7,5% населения (509 населенных пунктов)
- В бассейнах 3 103 рек происходят селевые потоки и наводнения, и около 1 000 населенных пунктов подвержены опасности

- Earthquake
- Avalanches
- Flooding
- Strong Winds
- Large-scale fires (man-made)
- Landslide
- Snowstorms
- Ice jam
- Snowfall
- Mudflow
- Flood
- Rockslide
- Hails

Примерно 70 % гидрометеорологические стихийные явления



Количество зарегистрированных чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики с 1990 по 2019 гг.



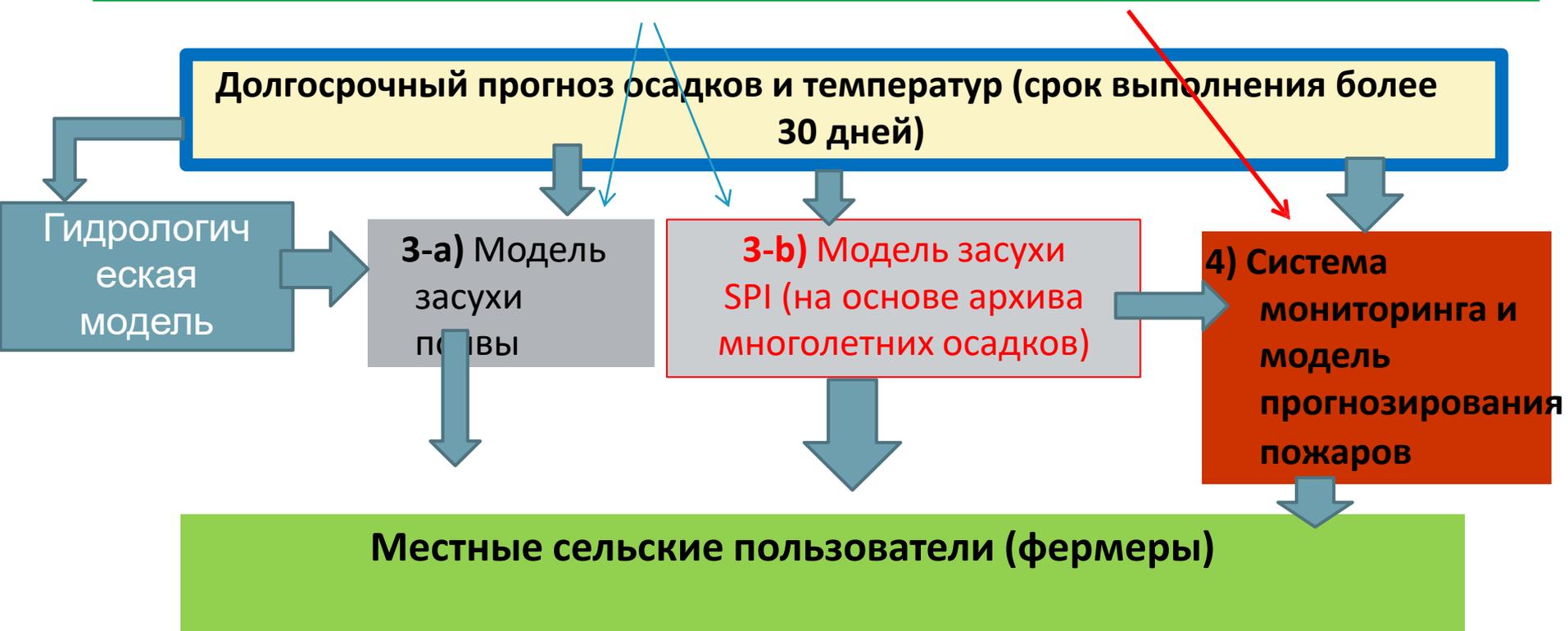
Частота бедствий



Этапы работ по проекту ЭСКАТО ООН «Разработка инструментов принятия решений для гео-мониторинга и раннего предупреждения засух в Центральной Азии» :

Прогнозы на срок более 30 дней, субсезон, сезон
(время ожидания более 30 дней)

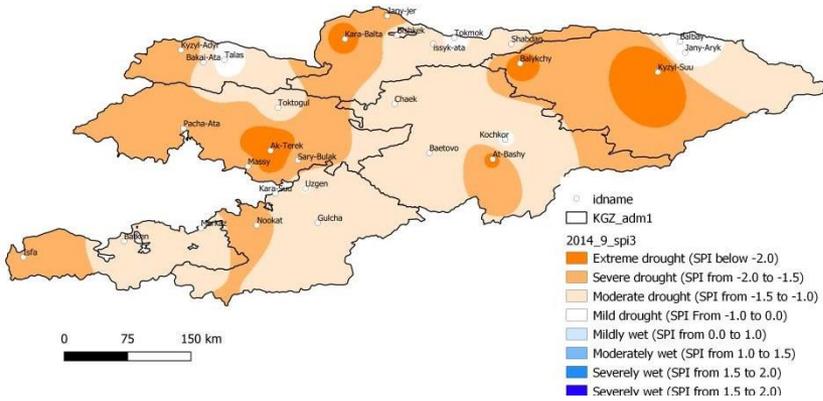
1) Программное обеспечение для извлечения информации со спутника о:
почвенном покрове, влажности почвы, температуре почвы. (10-20м)



Used Data

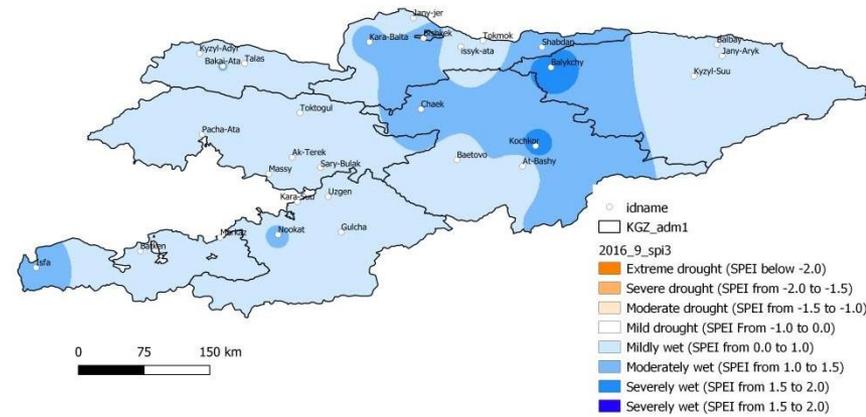
	Period	Information
Remote sensing data		
MODIS Drought indices (VHI,NDDI, VSWI, TCI, VCI, NDWI)	May-Sep(2000-2019)	Modis-TERRA(1km)
Sentinel	May-Sep(2016-2018)	2A(10m)
Ground observed data		
precipitation	12 month	31-agromet stations
Air temperature	12 month	31-agromet stations
Soil moisture	12 month	7-agromet stations
Average value of water discharge in rivers	12 month	14-hydroposts,m3 / second
Statistic data		
Yield productivity	1991-2018	for 7 oblast, ton/ha
GIS data and thematic maps		
Country profile Boundary		shp

2014_sep_win(jul-sep)

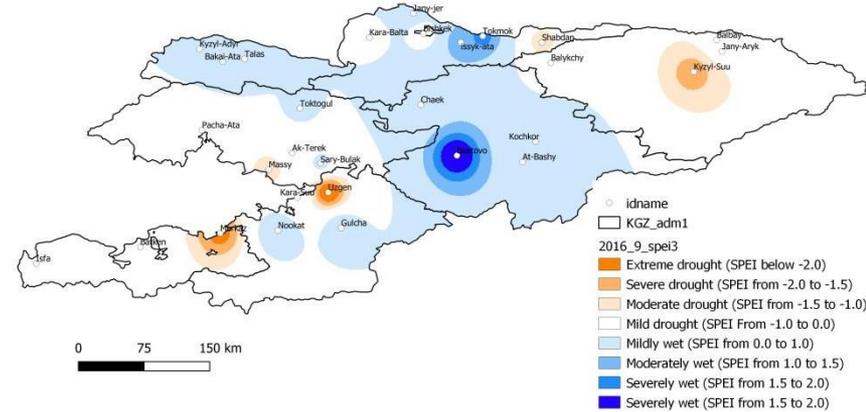
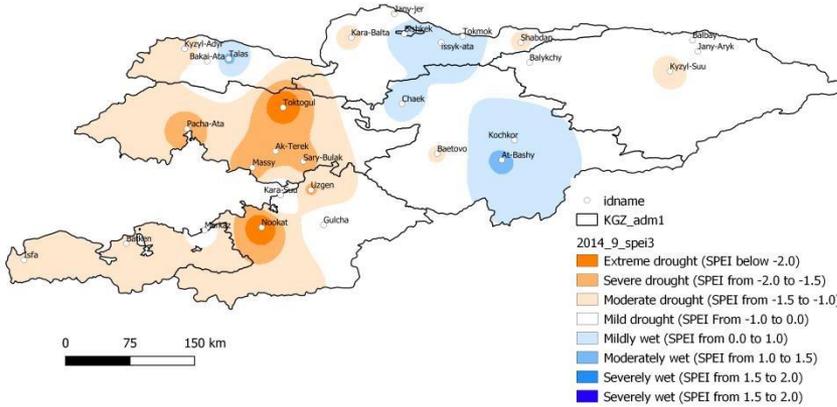


spi3

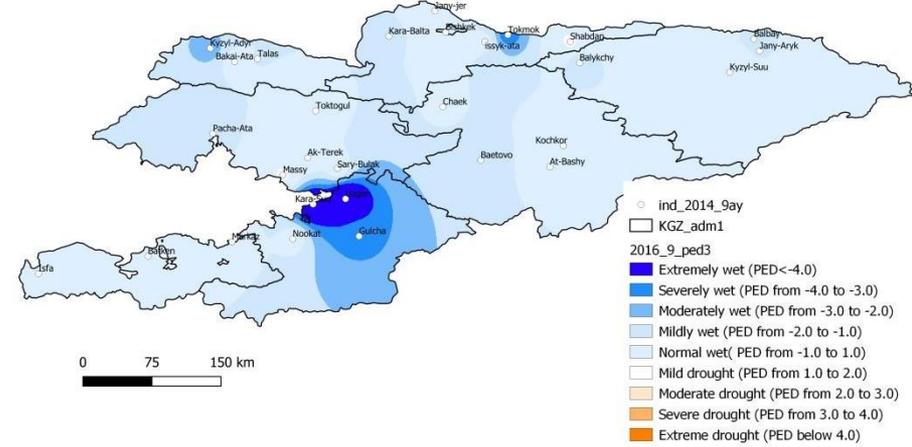
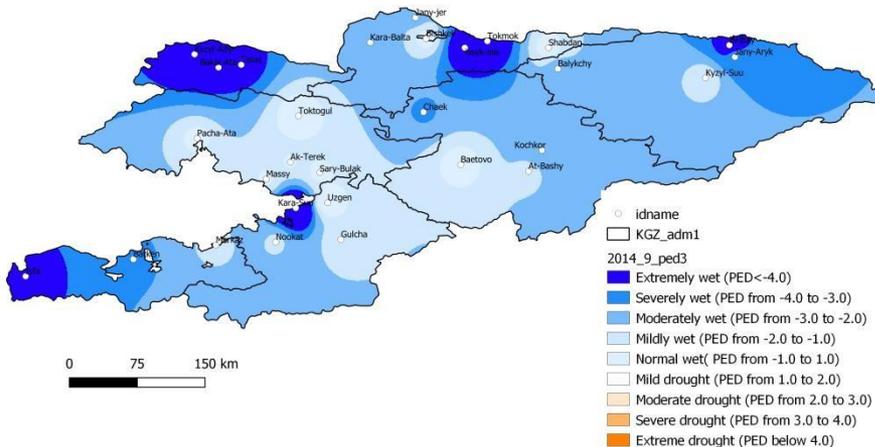
2016_sep_win(jul-sep)



spei3

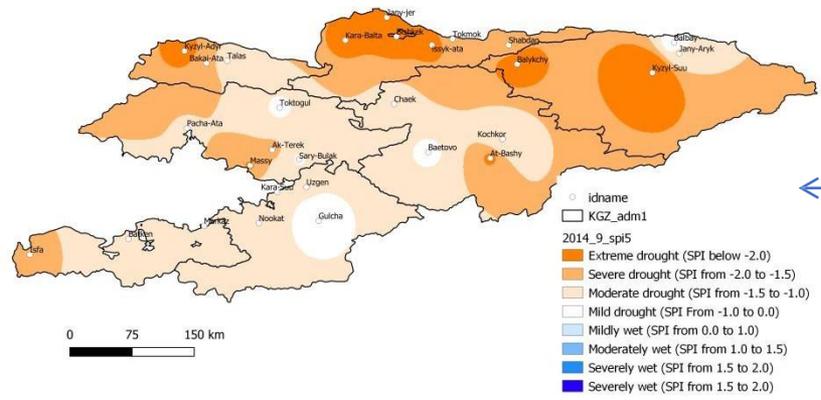


PED3

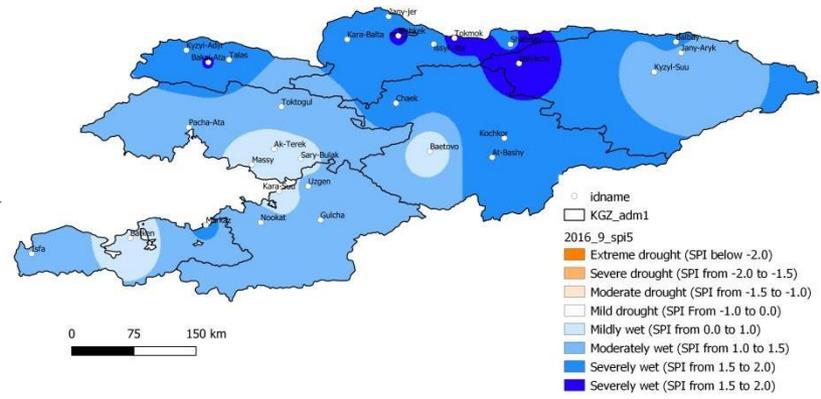


2014_sep_win(may-sep)

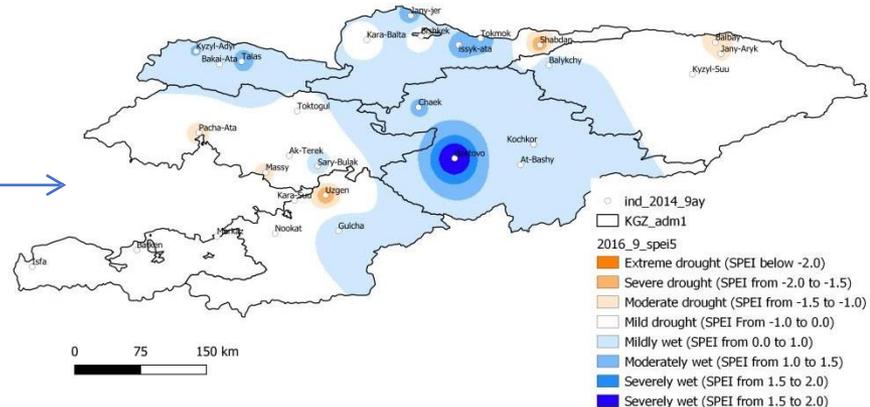
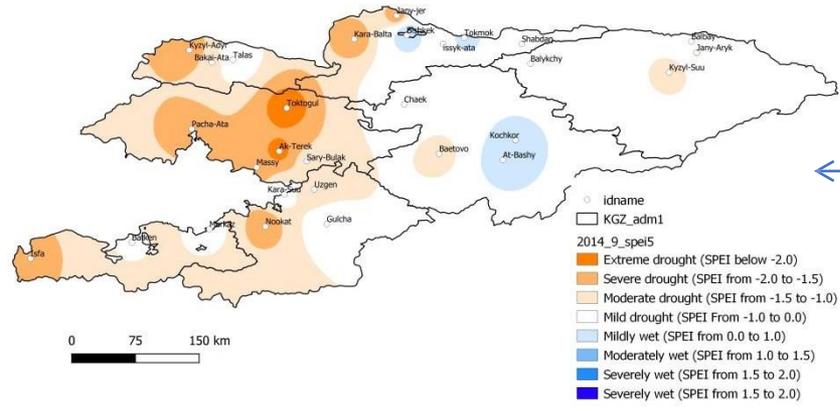
2016_sep_win(may-sep)



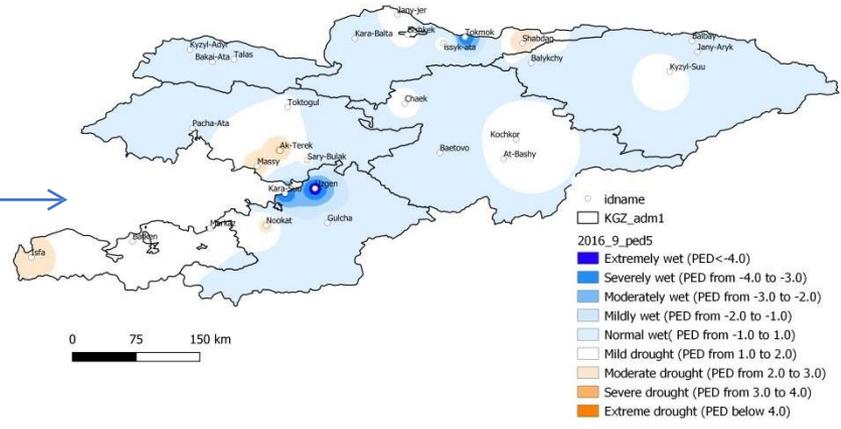
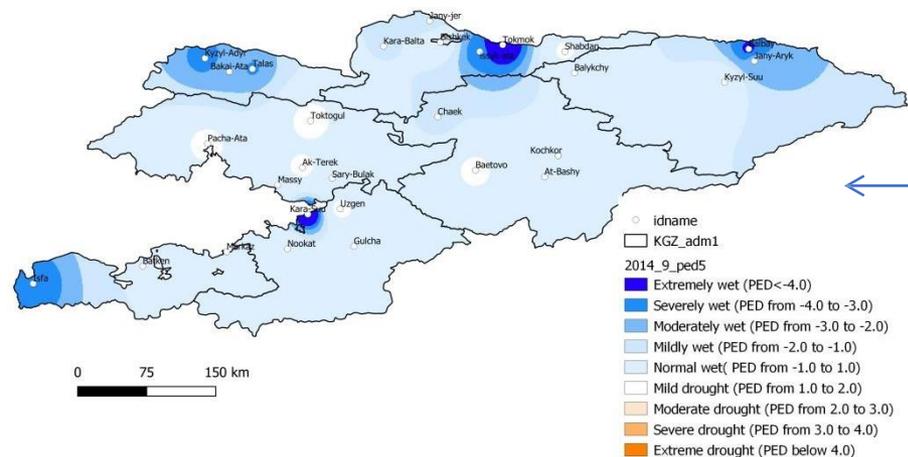
spi5



spei5



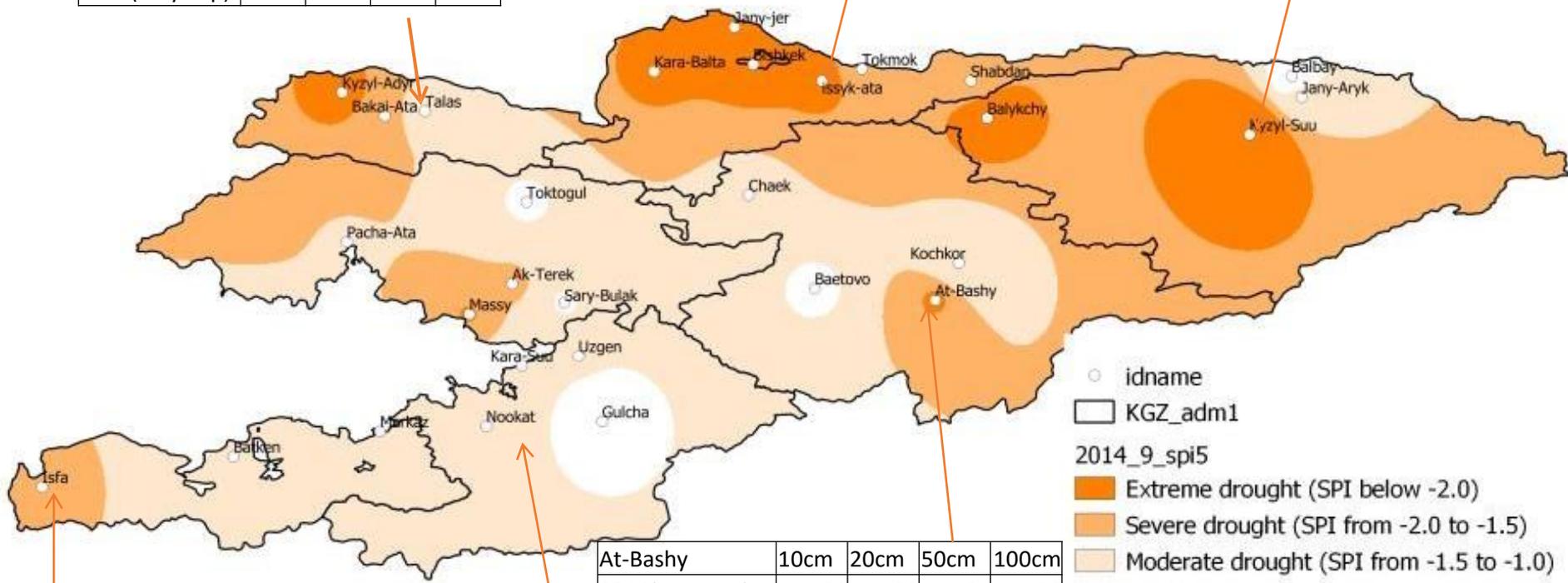
PED5



Talas	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	34	34	86	174
2016(may-sep)	109	109	205	

Issyk-Ata	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	20	20	54	107
2016(may-sep)	28	28	74	

Kyzyl-Suu	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	16	16	43	100
2016(may-sep)	39	39	88	179



Isfana	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	30	30	62	97
2016(may-sep)	45	45	142	178

At-Bashy	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	38	38	84	156
2016(may-sep)	50	50	113	189

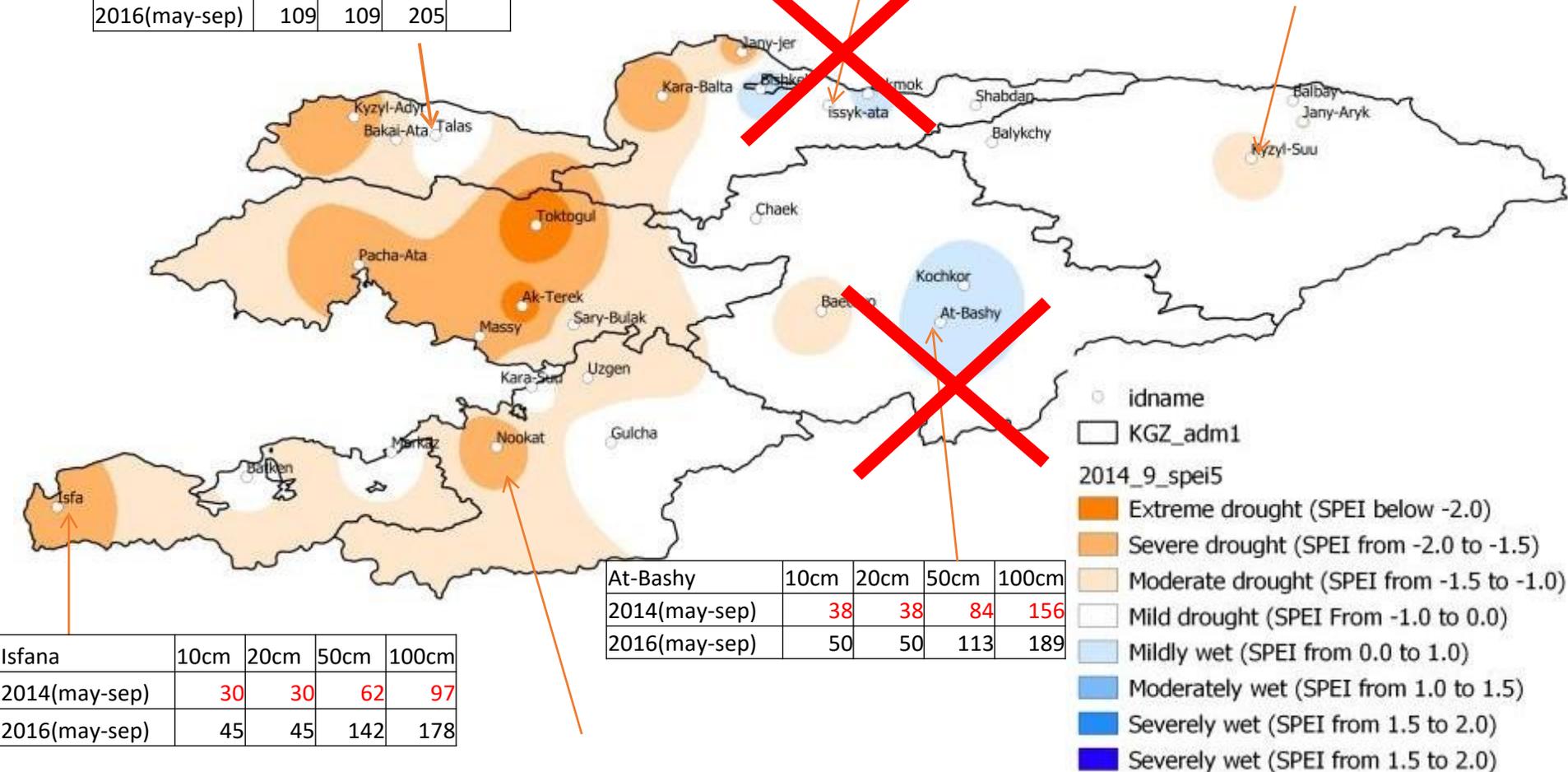
2014(may-sep)	26	26	49
2016(may-sep)	28	28	56

- idname
- KGZ_adm1
- 2014_9_spi5
- Extreme drought (SPI below -2.0)
- Severe drought (SPI from -2.0 to -1.5)
- Moderate drought (SPI from -1.5 to -1.0)
- Mild drought (SPI From -1.0 to 0.0)
- Mildly wet (SPI from 0.0 to 1.0)
- Moderately wet (SPI from 1.0 to 1.5)
- Severely wet (SPI from 1.5 to 2.0)
- Severely wet (SPI from 1.5 to 2.0)

Talas	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	34	34	86	174
2016(may-sep)	109	109	205	

Issyk-Ata	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	20	20	54	107
2016(may-sep)	28	28	74	

Kyzyl-Suu	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	16	16	43	100
2016(may-sep)	39	39	88	179

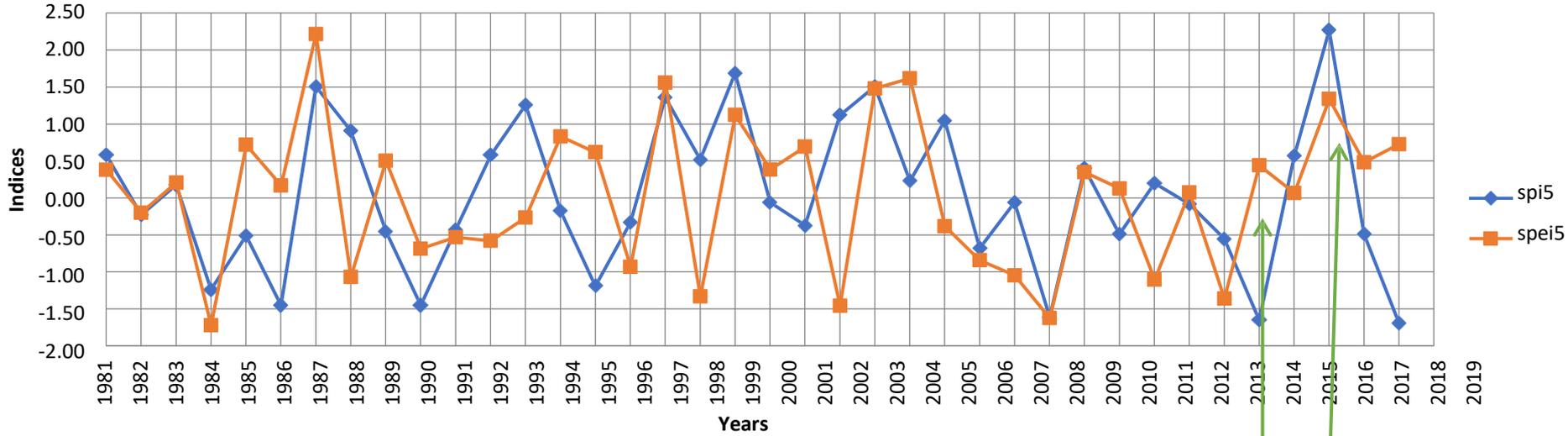


Isfana	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	30	30	62	97
2016(may-sep)	45	45	142	178

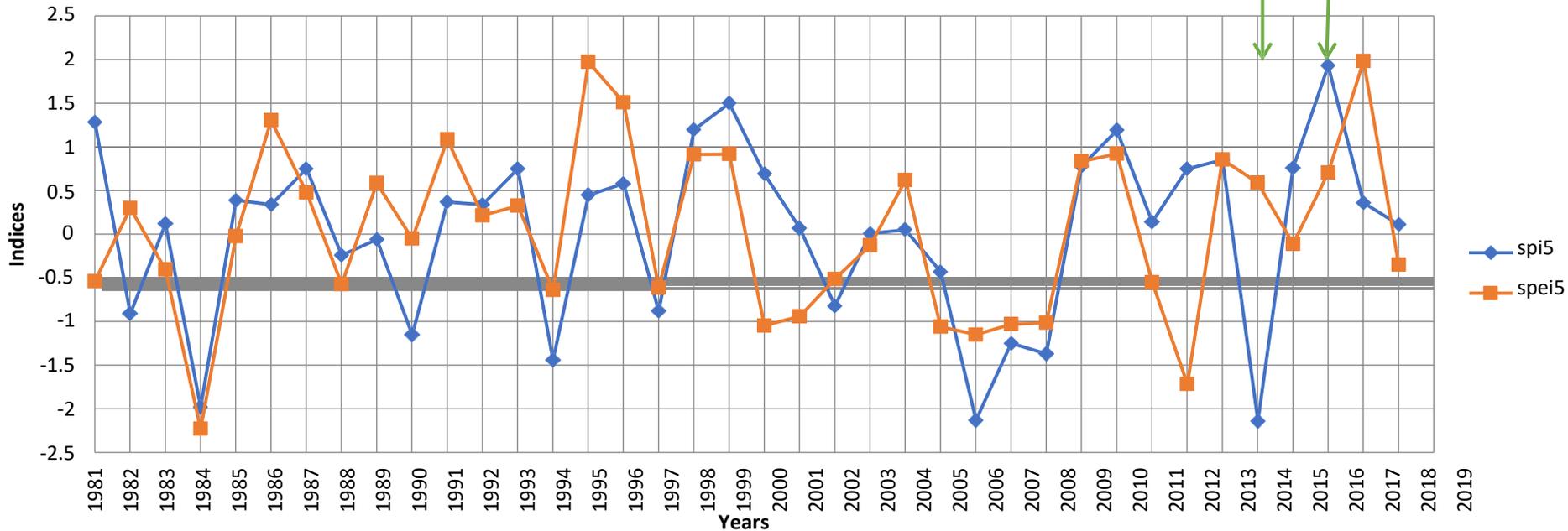
At-Bashy	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	38	38	84	156
2016(may-sep)	50	50	113	189

2014(may-sep)	20	20	70
2016(may-sep)	28	28	56

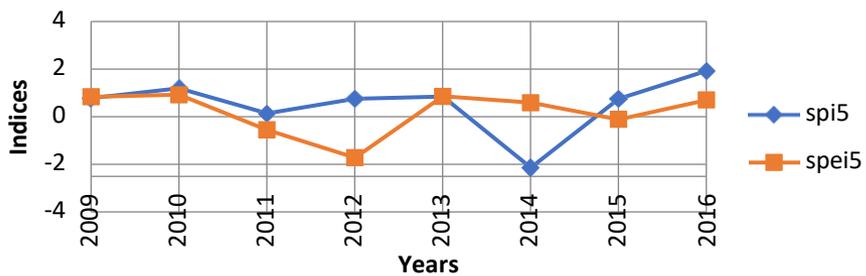
Tokmok_(may-sep)



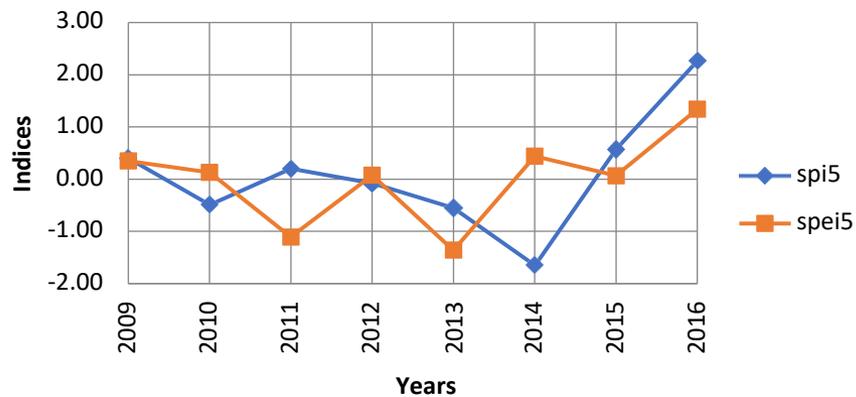
At-Bashy_(may-sep)



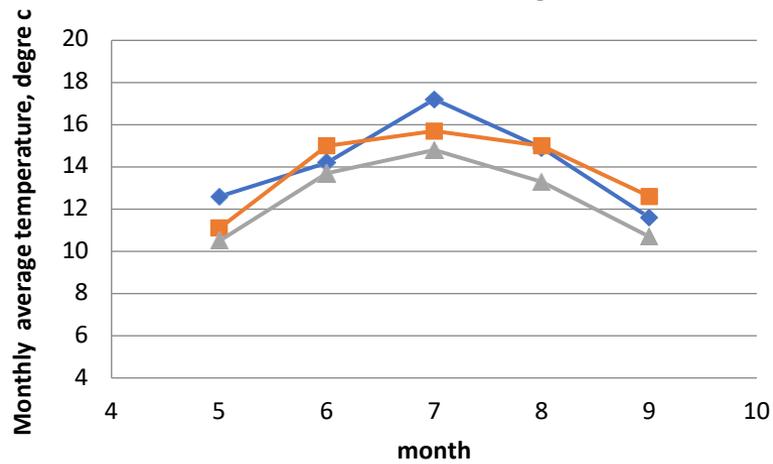
At-Bashy_(may-sep)



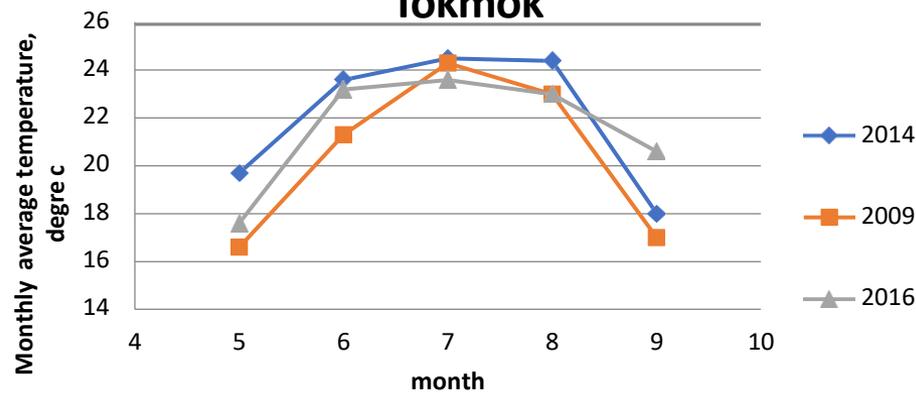
Tokmok_(may-sep)



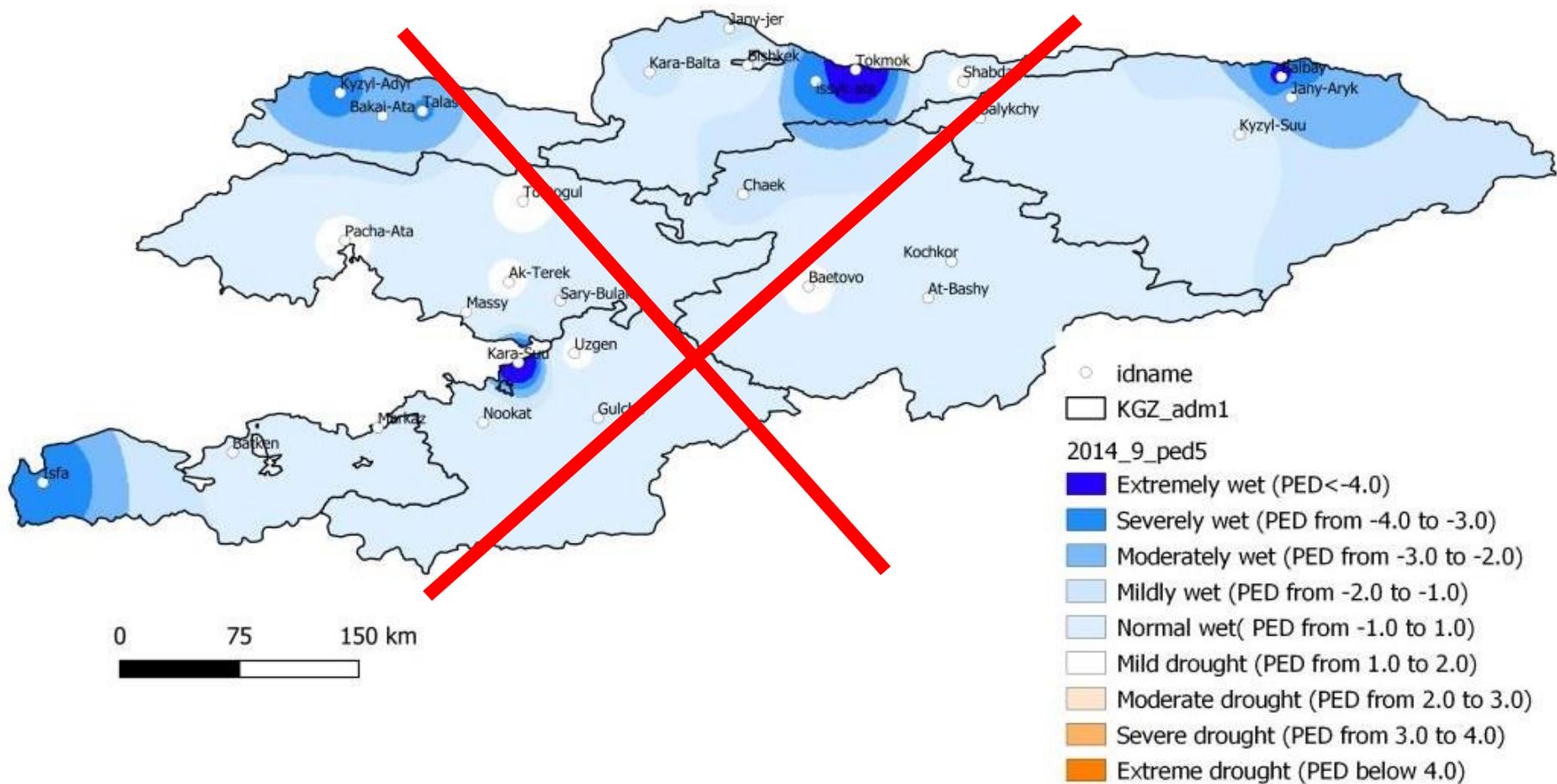
At-Bashy



Tokmok

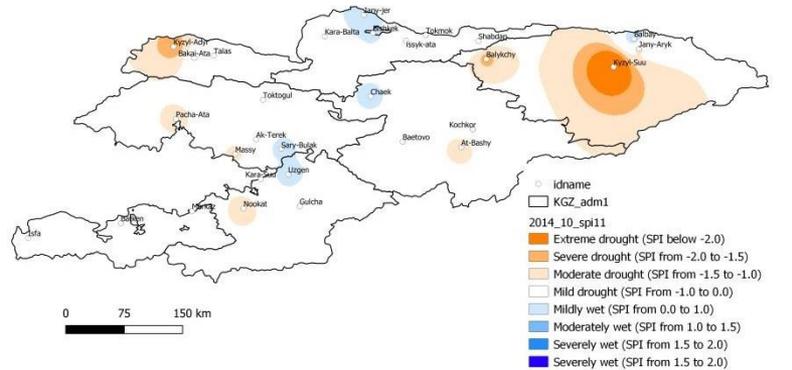


PED5

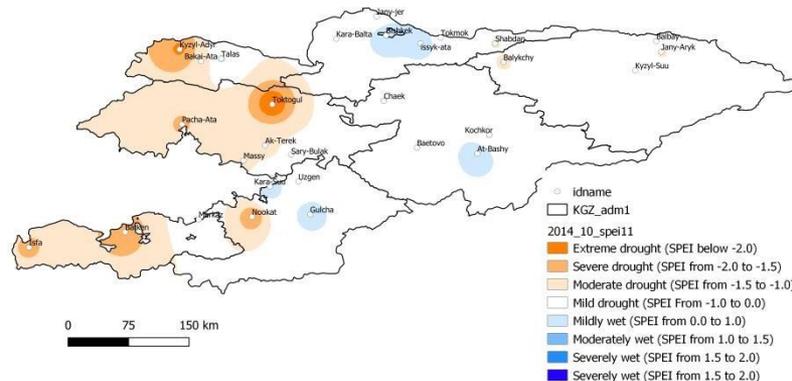
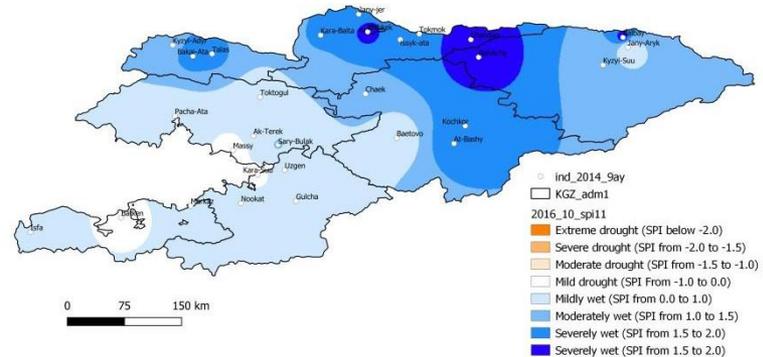


win(2013 dec-2014 oct)

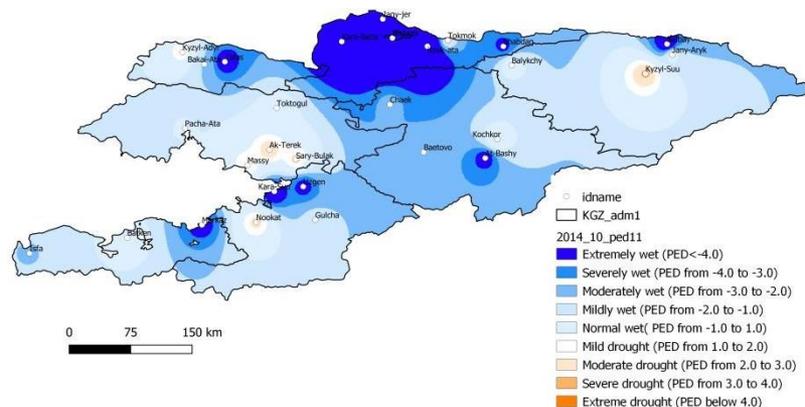
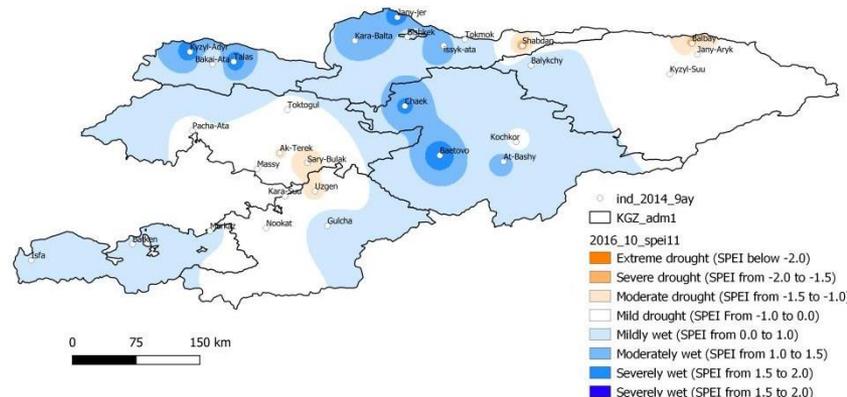
win(2015 dec-2016 oct)



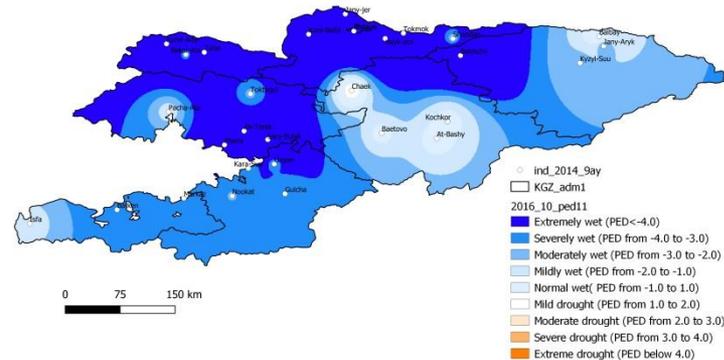
spi11



spei11



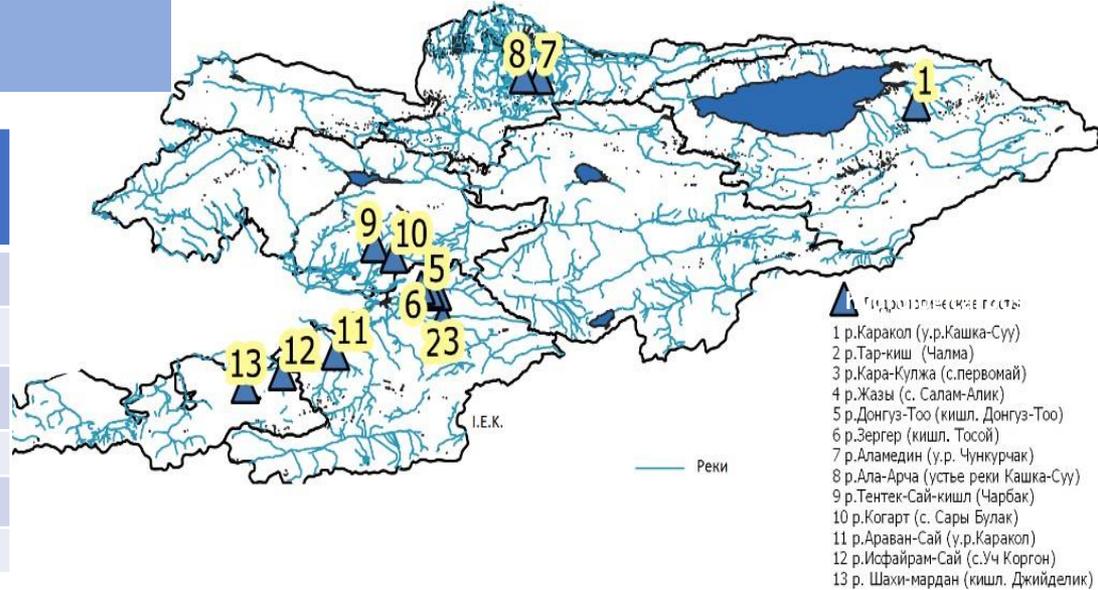
PED11



Среднее значение расхода воды в реках Кыргызстана в м3/секунда

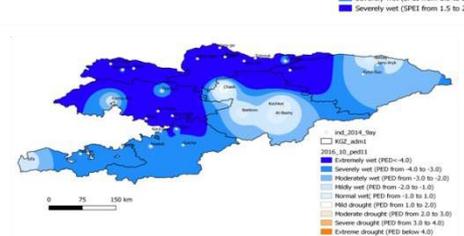
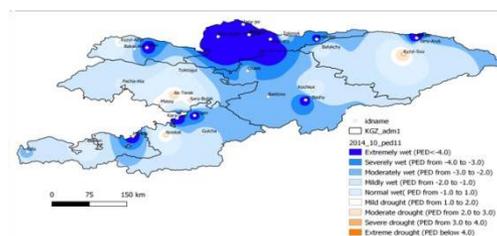
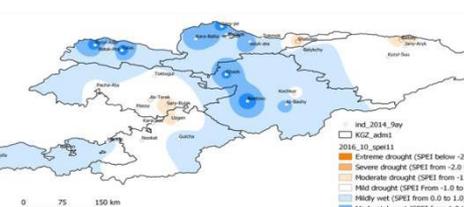
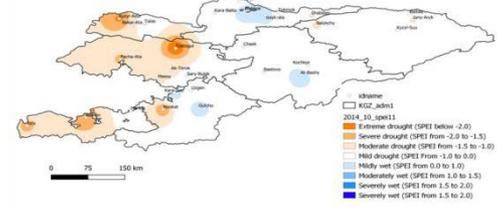
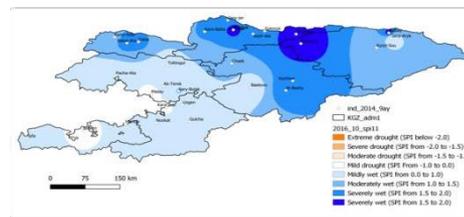
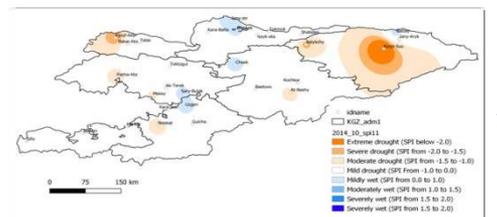
Среднее значение расхода воды

Название реки (гидрологические посты) River name (hydrological posts)	2013 December-2014 October	2015 December-2016 October
1 р.Каракол (у.р.Кашка-Суу)	3,75	7,46
2 р.Тар-киш (Чалма)	42,51	56,85
3 р.Кара-Кулжа (с.Первомай)	18,95	29,85
4 р.Жазы (с. Салам-Алик)	12,97	17,39
5 р.Донгуз-Тоо (кишл. Донгуз-Тоо)	3,30	3,30
6 р.Зергер (кишл. Тосой)	2,68	2,94



win(2013 dec-2014 oct)

win(2015 dec-2016 oct)



Корреляция между урожайностью (т/га) и индексами Met_Все

коэффициенты корреляции значимы, проверены t-тестом с 5%

batken_sep	уровнем значимости												
	Crop type												
Index	Grains	Wheat	Barley	Corn	Rice	Cotton	Tobacco	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Melons	Fruits and berries	Grapes
SPI3	-0,08	0,38	0,22	-0,16	-0,26	-0,31	0,12	-0,47	-0,19	-0,24	-0,13	-0,48	0,48
SPI4	-0,04	0,26	0,36	-0,13	-0,21	-0,26	0,29	-0,24	-0,06	-0,05	-0,09	-0,39	0,44
SPI5	-0,09	0,07	0,43	-0,18	-0,32	-0,12	0,32	-0,09	-0,03	0,01	-0,13	-0,30	0,30
SPEI3	-0,19	0,20	0,29	-0,17	-0,45	-0,29	0,01	-0,43	-0,19	-0,13	-0,21	-0,42	0,49
SPEI4	-0,18	0,21	0,38	-0,15	-0,44	-0,23	0,07	-0,33	-0,18	-0,11	-0,23	-0,42	0,46
SPEI5	-0,13	0,22	0,60	-0,09	-0,39	-0,17	0,13	-0,26	-0,13	-0,11	-0,21	-0,38	0,43
PED3	0,48	0,30	0,13	0,61	0,48	0,33	0,06	0,18	0,30	0,23	0,45	0,31	-0,33
PED5	0,47	0,34	0,15	0,49	0,45	0,30	0,03	0,14	0,27	0,20	0,42	0,27	-0,30

Issyk-Kul_sep	Crop type								
	Grains	Wheat	Barley	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Fruits and berries	Grapes	
Index									
SPI3	0,28	0,27	0,27	0,03	-0,06	-0,05	0,06	0,61	
SPI4	0,29	0,29	0,33	0,28	-0,02	0,05	0,08	0,44	
SPI5	0,29	0,28	0,31	0,25	0,01	0,02	0,11	0,42	
SPEI3	0,32	0,34	0,30	0,03	-0,31	-0,31	-0,28	0,42	
SPEI4	0,48	0,61	0,46	0,07	-0,22	-0,23	-0,31	0,27	
SPEI5	0,62	0,64	0,63	0,10	-0,23	-0,22	-0,33	0,21	
PED3	0,09	0,08	0,10	-0,14	0,00	0,03	-0,22	0,12	
PED5	0,12	0,11	0,13	-0,16	-0,04	-0,02	-0,27	0,10	

chuy_sep	Crop type												
	Grains	Wheat	Barley	Corn	Rice	Sugar-beet	Tobacco	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Melons	Fruits and berries	Grapes
Index													
SPI3	0,66	0,63	0,62	0,06	0,17	0,05	0,33	-0,01	0,09	0,04	-0,02	-0,03	0,02
SPI4	0,65	0,66	0,69	0,06	0,12	0,23	0,28	0,00	0,03	0,07	-0,04	-0,12	-0,03
SPI5	0,63	0,61	0,65	0,08	-0,06	0,30	0,12	0,00	0,01	0,11	0,02	-0,10	-0,06
SPEI3	0,32	0,35	0,24	0,04	0,03	0,06	0,16	0,06	0,12	0,06	-0,01	0,25	0,15
SPEI4	0,40	0,48	0,34	0,01	0,21	0,14	0,07	0,13	0,03	0,08	-0,09	0,05	0,11
SPEI5	0,32	0,47	0,27	-0,13	0,15	0,11	-0,03	0,04	-0,13	-0,06	-0,23	0,04	0,10
PED3	-0,09	-0,16	-0,04	0,09	0,07	0,24	0,06	-0,12	0,06	0,05	0,11	-0,31	-0,16
PED5	-0,06	-0,13	0,00	0,05	0,04	0,19	0,13	-0,16	0,03	0,01	0,08	-0,31	-0,15

naryn_sep	Crop type								
	Grains	Wheat	Barley	Corn	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Fruits and berries	
Index									
SPI3	0,41	0,37	0,46	-0,09	0,04	0,15	0,18	0,18	
SPI4	0,63	0,60	0,65	-0,10	-0,11	0,04	0,06	0,19	
SPI5	0,67	0,63	0,67	-0,04	-0,19	0,02	-0,01	-0,04	
SPEI3	0,26	0,22	0,35	-0,17	-0,20	-0,15	-0,15	0,12	
SPEI4	0,33	0,34	0,39	-0,20	-0,41	-0,34	-0,36	0,10	
SPEI5	0,45	0,43	0,50	-0,19	-0,44	-0,27	-0,33	-0,06	
PED3	0,21	0,22	0,12	-0,06	-0,38	-0,12	-0,25	0,17	
PED5	0,21	0,22	0,12	-0,06	-0,38	-0,12	-0,25	0,17	

Корреляция между урожайностью (т/га) и индексами REMsen

Все коэффициенты корреляции значимы, проверены t-тестом с 5% уровнем значимости

		Batken_obl												
		Grains	Wheat	Barley	Corn	Rice	Cotton	Tobacco	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Melons	Fruits and berries	Grapes
May	ndwi	0,2	-0,2	-0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	-0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
	nnddi	0,0	-0,3	-0,3	0,0	0,1	0,3	0,3	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,0
	tci	-0,3	-0,4	-0,6	0,2	0,1	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,3	0,2	0,3	0,1
	vci	-0,6	0,1	-0,4	-0,4	-0,6	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2	0,0	0,4	0,1
	vswi	0,2	0,8	0,5	-0,1	-0,3	0,2	-0,2	0,2	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,3
	vhi	-0,5	-0,3	-0,7	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,4	-0,3	0,1	0,0	0,3	0,0
	vhi	-0,5	-0,3	-0,7	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,4	-0,3	0,1	0,0	0,3	0,0
June	ndwi	-0,2	-0,3	-0,5	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,1	0,0	0,2	0,2
	nnddi	0,1	-0,5	-0,4	0,3	0,5	0,1	0,2	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1
	tci	-0,3	0,0	-0,2	-0,5	-0,4	-0,7	-0,3	-0,9	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	0,4
	vci	-0,6	0,1	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,3	-0,7	-0,7	-0,3	-0,2	0,1	0,2
	vswi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vhi	-0,3	0,1	-0,2	-0,6	-0,5	-0,6	-0,3	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	0,4	
July	ndwi	-0,1	-0,1	-0,4	-0,2	-0,1	-0,3	0,1	-0,6	-0,2	-0,2	0,1	0,0	0,2
	nnddi	-0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,5	-0,2	-0,2	0,2	0,1	0,2
	tci	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	-0,1	0,1	-0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,1
	vci	-0,5	0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,7	-0,6	-0,3	-0,2	0,1	0,2
	vswi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vhi	-0,2	0,2	-0,1	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,5	-0,3	-0,2	0,0	0,2	0,1	
August	ndwi	0,0	-0,3	-0,4	0,1	0,2	-0,3	0,3	-0,4	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2
	nnddi	0,0	-0,2	-0,3	0,1	0,2	-0,2	0,2	-0,4	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2
	tci	-0,6	-0,3	-0,7	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	0,2	-0,4
	vci	-0,5	-0,2	-0,6	-0,2	-0,3	-0,3	-0,1	-0,4	-0,4	0,0	0,0	0,3	0,0
	vswi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	vhi	-0,6	-0,2	-0,7	-0,2	-0,4	-0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,1	-0,1	0,3	-0,2
September	ndwi	0,1	-0,5	-0,4	0,1	0,2	-0,4	0,3	-0,5	0,0	0,0	0,1	-0,3	0,2
	nnddi	0,2	-0,3	-0,3	0,0	0,3	-0,3	0,2	-0,4	0,1	0,0	0,2	-0,2	0,2
	tci	-0,4	-0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-0,5	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	-0,3	-0,2	0,2
	vci	-0,3	-0,3	-0,5	-0,1	-0,2	-0,4	0,1	-0,5	-0,3	-0,1	0,1	0,0	0,4
	vswi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	vhi	-0,5	-0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,9	-0,7	-0,4	-0,4	-0,2	0,4
	vhi	-0,5	-0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,9	-0,7	-0,4	-0,4	-0,2	0,4

		Batken_obl														
		Grains	Wheat	Barley	Corn	Rice	Cotton	Tobacco	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Melons	Fruits and berries	Grapes		
may-sep	ndwi	0,0	-0,3	-0,4	0,0	0,1	-0,3	0,3	-0,5	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,2		
	nnddi	0,1	-0,3	-0,3	0,0	0,2	-0,2	0,2	-0,4	0,0	0,0	0,2	-0,1	0,2		
	tci	-0,4	-0,2	-0,5	-0,2	-0,2	-0,6	-0,3	-0,7	-0,4	-0,1	0,0	0,0	0,1		
	vci	-0,5	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,2	-0,1	0,2	0,2		
	vswi	0,2	0,8	0,5	-0,1	-0,3	0,2	-0,2	0,2	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,3		
	vhi	-0,5	-0,1	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,2	-0,7	-0,6	-0,3	-0,2	0,1	0,2		
	vhi	-0,5	-0,1	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,2	-0,7	-0,6	-0,3	-0,2	0,1	0,2		
may-jul	ndwi	-0,1	-0,2	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	0,1	-0,5	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,2		
	nnddi	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,4	-0,1	-0,1	0,2	0,1	0,2		
	tci	-0,2	-0,2	-0,4	-0,1	0,0	-0,5	-0,1	-0,6	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,3		
	vci	-0,6	0,1	-0,5	-0,5	-0,6	-0,3	-0,3	-0,7	-0,6	-0,3	-0,2	0,2	0,2		
	vswi	0,2	0,8	0,5	-0,1	-0,3	0,2	-0,2	0,2	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,3		
vhi	-0,5	-0,2	-0,6	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	0,1	0,0	0,3	0,0			
jun-jul	ndwi	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	-0,6	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,2		
	nnddi	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,4	-0,1	-0,1	0,2	0,1	0,2		
	tci	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,1	-0,5	-0,2	-0,7	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	0,3		
	vci	-0,5	0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,7	-0,6	-0,3	-0,2	0,1	0,2		
	vswi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
vhi	-0,2	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,4	-0,2	-0,4	-0,3	0,1	0,0	0,1	0,1			
jun-aug	ndwi	-0,1	-0,2	-0,4	0,0	0,1	-0,3	0,2	-0,5	-0,1	0,0	0,2	0,0	0,2		
	nnddi	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,1	-0,2	0,2	-0,4	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2		
	tci	-0,4	-0,2	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	-0,7	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,1		
	vci	-0,5	0,0	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	-0,6	-0,6	-0,2	-0,1	0,2	0,1		
	vswi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	vhi	-0,1	-0,2	-0,4	0,2	0,2	-0,4	0,1	-0,3	-0,1	0,2	0,1	0,0	0,0		

Корреляция между влажностью почвы и индексами Remsen_

Все коэффициенты корреляции значимы, проверены t-тестом с 5% уровнем значимости

Горные станции

At-Bashy	index					
Soil_D	NDDI	VSWI	NDWI	vhi	tci	vci
10cm	-0,06	-0,06	-0,08	0,20	0,20	0,13
20cm	-0,06	-0,06	-0,08	0,20	0,20	0,13
50cm	-0,07	-0,12	-0,05	0,18	0,18	0,21
100cm	-0,05	-0,08	-0,08	0,16	0,16	0,23

Issyk-Ata	index					
Soil_D	NDDI	VSWI	NDWI	vhi	tci	vci
10cm	0,19	-0,23	-0,10	0,09	0,09	0,00
20cm	0,19	-0,23	-0,10	0,09	0,09	0,00
50cm	0,19	-0,27	-0,03	0,05	0,05	-0,02
100cm	0,17	-0,23	0,00	0,01	0,01	-0,04

Равнинные станции

Isfana	index					
Soil_D	NDDI	VSWI	NDWI	vhi	tci	vci
10cm	-0,03	-0,34	0,21	0,12	0,12	0,23
20cm	-0,03	-0,34	0,21	0,12	0,12	0,23
50cm	-0,05	-0,34	0,20	0,14	0,14	0,32
100cm	-0,52	-0,64	0,66	0,49	0,49	0,49

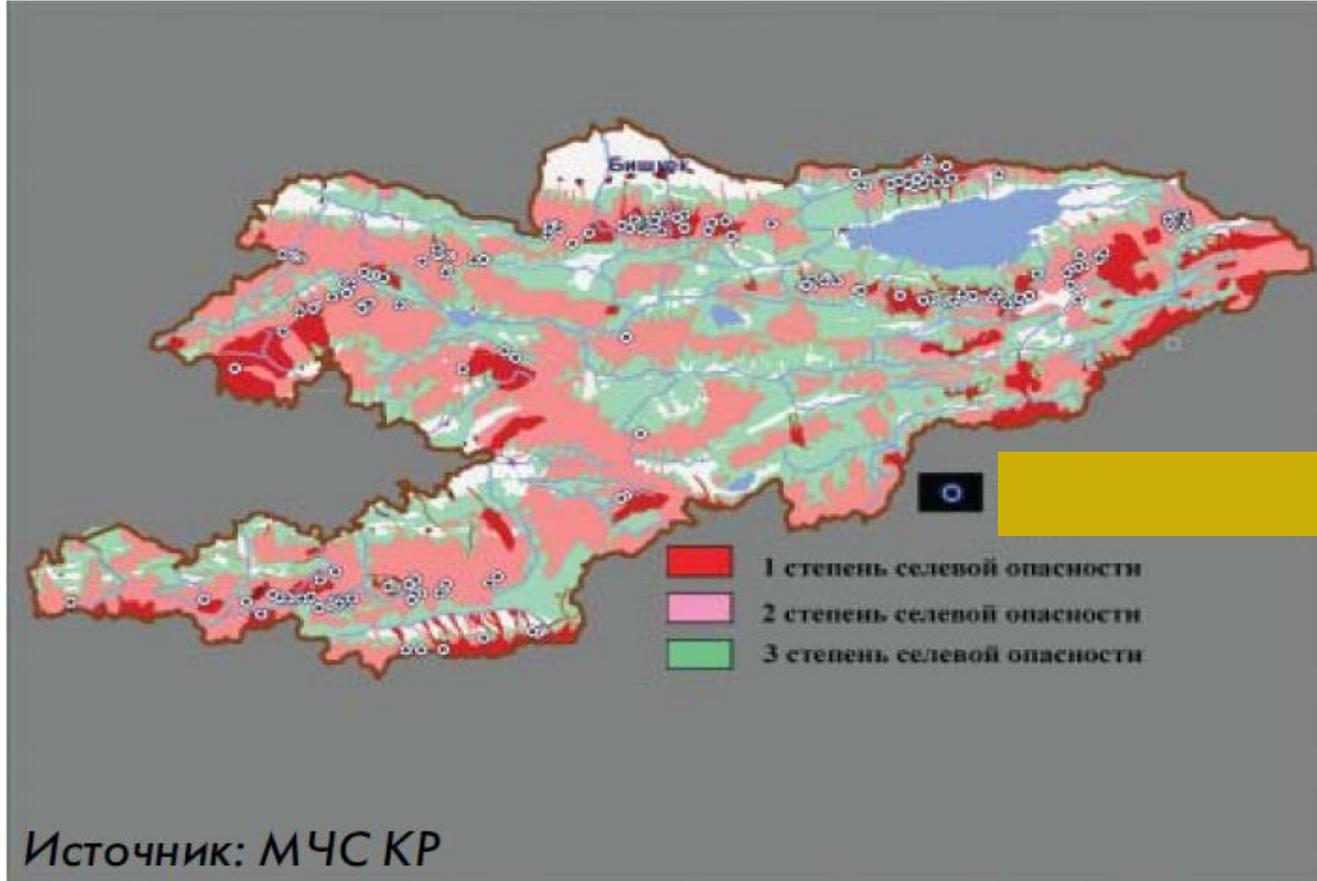
Talas	index					
Soil_D	NDDI	VSWI	NDWI	vhi	tci	vci
10cm	-0,43	-0,43	0,45	0,41	0,42	0,31
20cm	-0,43	-0,43	0,45	0,41	0,42	0,31
50cm	-0,39	-0,39	0,40	0,39	0,39	0,26
100cm	0,01	-0,02	0,06	0,09	0,09	-0,21

Вывод и перспектива

- Метеорологические индексы для оценки засухи (SPEI, SPI, PED) были оценены, как и пространственная согласованность в метеорологических индексах, и SPI лучше других подходит для Кыргызстана. В дальнейшем для анализа следует использовать больше метеорологических индексов (таких как scPDSI, KBDI и т.д.).
- При построении карты метеорологических индексов была использована интерпретация метода IDW, а какой метод лучше для метеорологических пространственных характеристик Кыргызстана - необходимо исследовать в будущем.
- Были оценены дистанционные индексы для оценки засухи (VHI, VCI, TCI, NDDI, NDWI, VSWI), и определено, что для всех регионов VHI, VCI и TCI показывают наилучший результат. Однако существует еще много других индексов засухи; в ходе обсуждения была отмечена необходимость проведения валидации и оценки этих индексов для территории Кыргызстана.
- Корреляция между влажностью почвы и спутниковыми индексами засухи (1KM) отличалась в горных и равнинных районах. Более надежные результаты получены для равнинных районов. И здесь вопрос масштаба, сколько процентов горных и равнинных районов. Нам необходимо использовать данные высокого разрешения для дальнейшей валидации (данные Sentinel).
- После обсуждения с коллегами, RADII и Кыргызстан пришли к единому мнению, что Кыргызстану необходима полевая кампания (сбор данных) для улучшения и калибровки системы мониторинга засухи.
- От команды из Кыргызстана было предложено участие в программе Droughtwatch
- Инструменты для расчета (индексы Met - данные с метеорологических станций)
- Инструменты прогнозирования для предсказания засухи в различные периоды (индексы - данные из моделей, формат: NETCDF, GRIB2).

Прогноз

- Прогноз полей метеорологических величин в горной местности является чрезвычайно сложной задачей;
- Очень ограниченный объем данных с горных метеорологических станций;
- Мезомасштабные особенности рельефа.



Цель - создание системы гидродинамического моделирования атмосферных процессов на территории со сложным рельефом для улучшения прогноза стихийных бедствий на территории Кыргызстана.

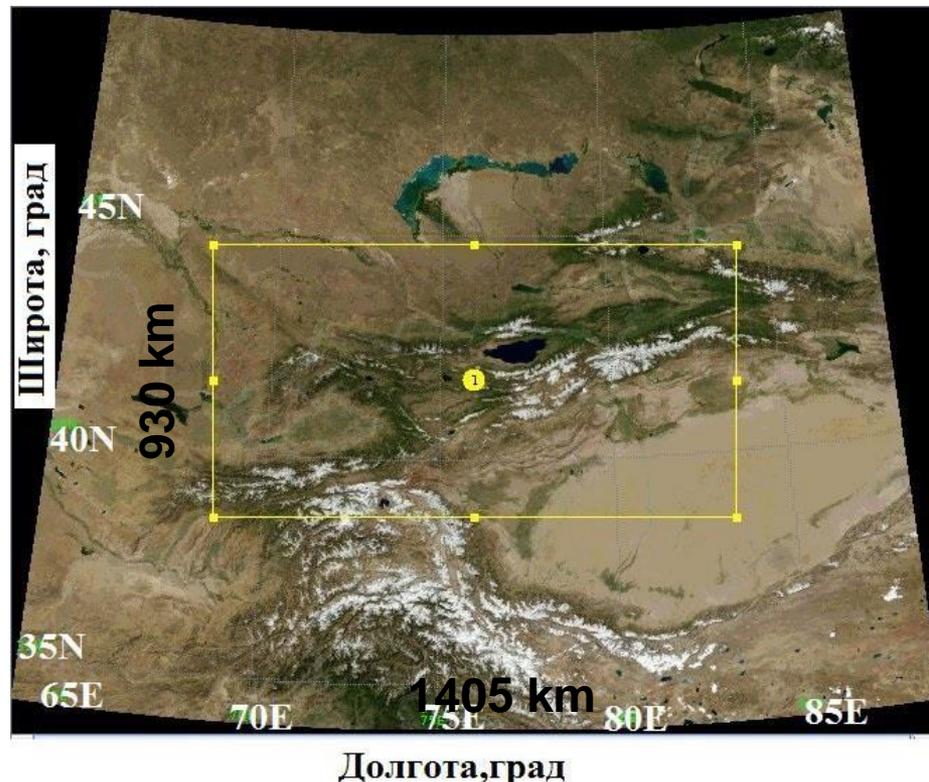
Проблемы, которые нужно решить для достижения цели:

- ◎ Адаптация и оптимизация атмосферной гидродинамической модели Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) на территории со сложным рельефом и тестирование для Кыргызстана;
- ◎ Адаптация и оптимизация методов подтверждения (верификации) гидродинамического прогноза метеорологических переменных при моделировании на территории со сложной орографией;
- ◎ Оценка чувствительности гидродинамического моделирования атмосферных процессов на территории со сложной орографией к параметризации физических процессов;
- ◎ Модификация схемы параметризации пограничного слоя для использования в районе со сложной орографией;
- ◎ Разработка комплекса по ассимиляции данных наблюдений с наземных метеорологических станций в гидродинамическую модель для территории Кыргызстана и оценка его воздействия;
- ◎ Верификация созданной системы гидродинамического моделирования атмосферных процессов на территории Кыргызстана.

Область и условия моделирования

- Время прогнозирования:
24 часа, 48 часов, 102 часа
- Пространственное разрешение:
10 км, 5 км, 2,5 км, 1,25 км
- Временные шаги: (60,30,15)сек
- Вертикальные уровни: 40
- Проекция: Ламберт
- начальные и граничные условия:
данные наблюдений Кыргызгидромета
и Глобальной модели прогнозирования
(GFS).

Более 4000 числовых выражений.

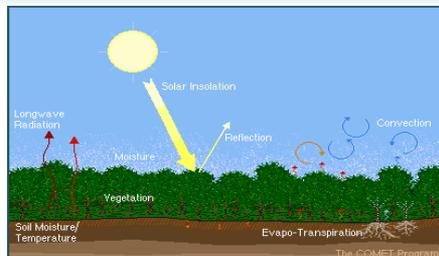


Что необходимо сделать для улучшения прогнозирования стихийных бедствий:

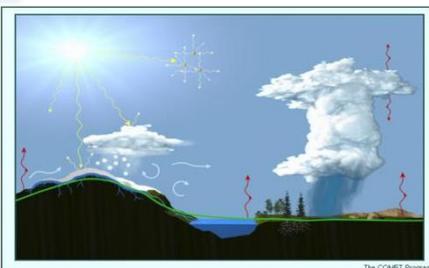


Оценка влияния комбинаций параметризаций физических процессов на прогноз метеорологических переменных

К и Д волновое излучение



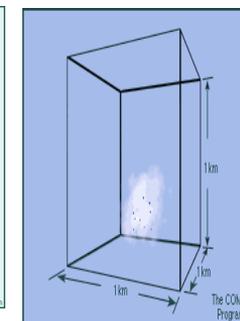
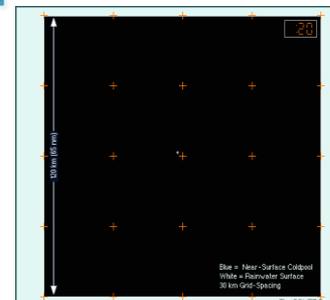
Конвекция



Модель земной поверхности



Микрофизика



Для проверки прогнозов использовались результаты наблюдений на 31 станции в Кыргызстане. Количество числовых значений: 2000.

№ Комбинаций	Вертикальные уровни, км						
	Микрофизика	Длинноволновое излучение	Коротковолновое излучение	Поверхностный слой	Поверхность земли	Планетарный пограничный слой	Конвекция
1	WSM6	RRTM	Dudhia	MM5	Noah	YSU	Нет
2	Lin	RRTM	Dudhia	MO	Noah	MYJ	KF
3	Lin	RRTM	Dudhia	QNSE	Noah	QNSE	KF
4	Lin	RRTMG	RRTMG	MO	Noah	MYJ	KF
5	Lin	RRTMG	RRTMG	MO	Noah	BL	GR
6	WSM6	RRTM	Dudhia	MO	Noah	MYJ	GR
7	WSM6	RRTMG	RRTMG	MO	Noah	BL	KF
8	WSM6	RRTMG	RRTMG	QNSE	Noah	QNSE	KF

Пакет по верификации

Средняя абсолютная погрешность

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_n - X_{\phi}|,$$

Средняя систематическая погрешность

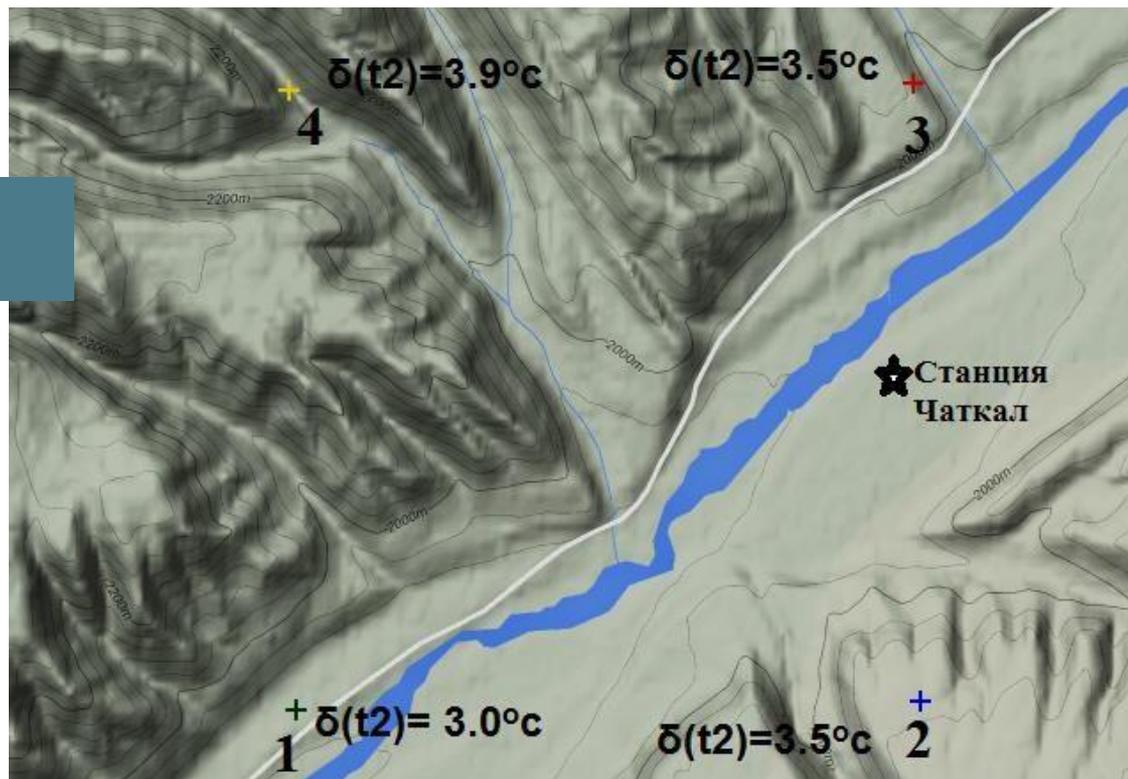
$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_n - X_{\phi}),$$

RMSE

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_n - X_{\phi})^2},$$

Коэффициент корреляции

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{\phi} - \bar{X}_{\phi})(X_n - \bar{X}_n)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{\phi} - \bar{X}_{\phi})^2 \sum_{i=1}^N (X_n - \bar{X}_n)^2}}$$



X_n - прогноз; X_{ϕ} -
наблюдение

Верификация прогноза

Оценка с помощью наилучшей комбинации схем параметризации

№ стан-ции	Оцениваемая величина											
	Скорость ветра u, м/с				Скорость ветра v, м/с				Температура, °C			
	δ	σ	ε	τ	δ	σ	ε	τ	δ	σ	ε	τ
1	2,0	2,7	0,5	0,3	2,2	2,8	-0,1	0,6	3,8	5,8	1,0	0,5
2	2,3	1,5	2,3	0,4	3,1	3,9	2,3	0,1	1,7	2,2	-0,9	0,9
3	2,2	3,0	0,6	0,3	1,7	1,3	1,7	0,3	4,0	6,0	1,4	0,6
4	2,4	3,1	0,4	0,3	1,6	1,3	1,6	0,0	3,5	5,7	0,5	0,5
5	1,8	2,6	0,8	0,2	2,6	3,2	1,7	0,1	3,5	5,1	0,3	0,6
6	2,8	1,7	2,8	0,4	2,2	2,8	1,0	0,2	5,2	6,3	-2,1	0,5
7	3,3	4,4	2,3	0,3	2,3	1,5	2,3	0,1	5,0	5,8	-5,0	0,7
8	2,7	3,3	-0,8	0,4	4,3	5,0	3,3	-0,2	5,9	7,3	0,4	0,5
9	1,4	2,2	-0,2	0,5	1,2	1,6	-0,5	0,5	3,9	6,0	10,5	0,3
10	2,7	3,5	0,7	0,3	3,0	3,6	-1,2	0,5	3,6	5,0	1,3	0,6
11	2,7	3,1	-0,7	0,3	3,6	4,6	0,4	-0,1	9,2	9,8	-9,2	0,7
12	1,5	2,3	0,5	0,6	2,4	3,0	0,3	0,4	3,1	4,1	-0,7	0,7
13	3,4	6,7	0,0	0,5	3,3	6,3	1,4	0,3	3,4	5,1	1,3	0,7
14	2,8	4,2	0,0	0,5	2,7	3,5	0,9	0,3	3,5	5,6	2,1	0,7
15	3,2	1,8	3,2	0,5	3,0	1,7	3,0	0,2	2,7	4,6	0,6	0,8
16	3,3	4,4	-0,4	0,6	3,0	3,9	1,4	0,0	2,5	3,4	0,6	0,9
17	2,0	2,6	1,2	0,5	2,7	1,6	2,7	0,3	3,9	5,5	1,6	0,6
18	2,5	3,3	1,1	0,0	3,1	1,8	3,1	0,3	2,5	3,4	0,8	0,8
19	3,0	1,7	3,0	0,2	5,9	2,4	5,9	0,3	6,1	7,0	-6,0	0,7
20	3,4	4,7	1,8	-0,3	2,5	3,2	1,1	0,6	2,6	3,8	-1,9	0,5
21	1,4	2,1	0,9	0,2	3,8	1,9	3,8	0,1	3,1	4,0	-0,1	0,6
22	2,4	3,1	0,6	0,3	2,4	3,2	0,2	0,2	3,5	5,1	0,8	0,7
23	2,7	3,8	-0,2	0,4	2,0	1,4	2,0	0,2	3,2	4,8	0,0	0,7
24	5,8	8,2	-3,0	0,4	2,1	2,7	-0,4	0,2	2,9	3,8	0,3	0,6
25	2,1	1,5	2,1	0,4	2,0	1,4	2,0	0,1	3,1	3,9	-1,8	0,5
26	2,3	3,3	1,3	0,2	2,5	3,1	1,3	0,0	3,7	4,9	-2,0	0,6
27	2,7	3,5	0,0	0,6	2,5	3,1	1,4	0,4	4,1	5,2	-2,9	0,6
28	3,2	4,2	2,2	0,0	4,2	5,5	2,2	0,3	8,0	8,6	-8,0	0,6
29	4,7	5,7	4,2	0,1	3,6	4,4	2,7	0,0	3,0	4,0	-2,1	0,6
30	3,2	4,1	0,8	0,4	2,1	2,7	0,6	0,0	6,1	9,3	-5,0	0,4
31	2,0	3,0	0,9	0,4	1,7	2,5	0,8	0,1	5,2	6,3	-1,3	0,4

Оценка с наихудшей комбинацией схем параметризации

№ стан-ции	Оцениваемая величина											
	Скорость ветра u, м/с				Скорость ветра v, м/с				Температура, °C			
	δ	σ	ε	τ	δ	σ	ε	τ	δ	σ	ε	τ
1	1,9	2,6	0,1	0,3	2,2	2,9	-0,1	0,0	4,0	5,6	-0,1	0,4
2	2,2	1,5	2,2	0,4	3,8	4,8	3,0	0,0	2,0	2,6	-1,5	0,9
3	1,8	2,3	0,0	0,4	1,7	1,3	1,7	0,0	4,2	6,0	0,3	0,5
4	2,0	2,5	-0,1	0,3	1,7	1,3	1,7	0,0	3,7	5,5	-1,1	0,5
5	1,5	2,1	0,0	0,3	2,5	3,2	1,6	0,0	3,5	5,0	-1,1	0,6
6	3,2	1,8	3,2	0,3	2,1	2,5	1,0	0,0	5,9	7,0	-3,3	0,3
7	2,7	3,4	1,8	0,3	2,0	1,4	2,0	0,0	6,0	6,8	-5,9	0,6
8	3,0	3,6	-1,6	0,4	4,3	5,0	3,0	0,0	5,8	6,8	-1,5	0,5
9	1,2	1,9	-0,3	0,3	1,5	2,0	-0,7	0,0	4,2	5,4	8,2	0,4
10	2,4	3,2	0,2	0,2	3,2	3,7	-1,6	0,0	3,5	4,8	0,3	0,5
11	2,9	3,4	-1,6	0,4	3,6	4,6	-1,5	0,0	10,1	10,7	-10,1	0,7
12	1,4	1,8	-0,5	0,5	2,1	2,5	-0,6	0,0	3,4	4,6	-2,4	0,7
13	3,4	7,3	-0,8	0,5	3,4	6,8	1,8	0,0	3,8	5,5	0,7	0,7
14	2,7	4,4	-0,5	0,5	2,8	3,7	1,4	0,0	3,4	5,4	1,2	0,7
15	3,2	1,8	3,2	0,6	2,9	1,7	2,9	0,0	2,8	4,7	-0,5	0,8
16	2,9	4,0	-0,5	0,7	2,8	3,6	1,5	0,0	2,7	3,8	-0,3	0,8
17	2,0	2,5	1,2	0,4	3,2	1,8	3,2	0,0	3,7	5,3	0,6	0,6
18	2,3	3,0	1,1	0,0	4,2	2,1	4,2	0,0	2,8	3,7	-1,6	0,8
19	1,7	1,3	1,7	0,1	5,5	2,4	5,5	0,0	6,9	7,8	-6,9	0,7
20	2,3	3,3	0,2	0,0	2,5	3,3	0,3	0,0	3,5	4,9	-3,2	0,4
21	0,8	1,2	0,4	0,3	3,5	1,9	3,5	0,0	3,3	4,1	-1,5	0,6
22	2,3	3,0	-0,2	0,3	2,6	3,2	0,5	0,0	3,4	4,8	0,0	0,7
23	2,8	4,1	-0,7	0,3	2,3	1,5	2,3	0,0	3,3	4,7	-0,9	0,7
24	5,6	8,0	-3,9	0,5	2,0	2,5	-0,6	0,0	2,9	3,6	-0,5	0,6
25	2,0	1,4	2,0	0,4	2,4	1,5	2,4	0,0	3,8	4,5	-2,9	0,5
26	1,8	2,5	1,0	0,2	3,4	4,2	2,4	0,0	4,7	5,8	-3,6	0,5
27	2,8	3,6	-0,9	0,7	2,7	3,4	1,9	0,0	5,0	6,1	4,4	0,5
28	2,4	3,1	0,5	0,1	4,1	5,2	2,7	0,0	9,2	9,8	-9,2	0,6
29	2,9	3,8	2,5	0,2	3,6	4,5	2,8	0,0	3,7	4,9	-3,4	0,5
30	3,1	3,9	0,0	0,4	2,2	2,8	0,9	0,0	6,7	7,9	-6,0	0,4
31	1,7	2,5	0,2	0,5	1,7	2,3	0,7	0,0	5,5	6,6	-3,4	0,4

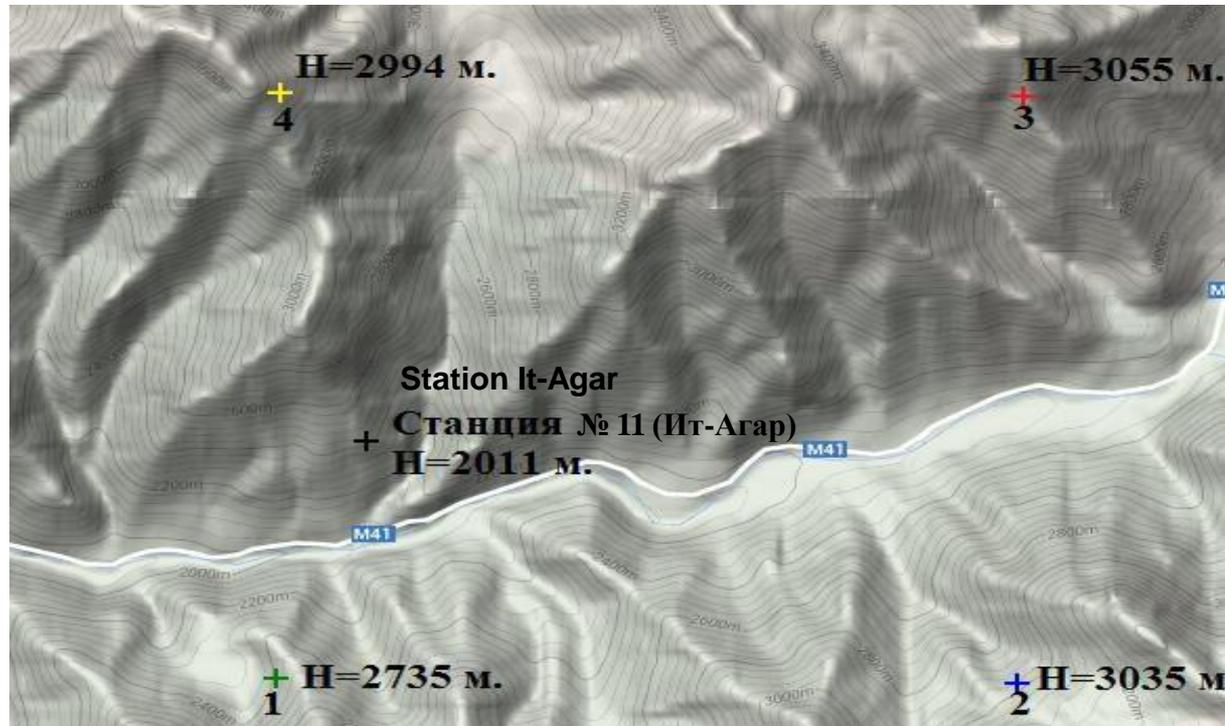
Коррекция высоты в пакете по верификации

$$\Delta T_h = \Delta H \Delta \gamma, \quad (1)$$

где

ΔH – разница высот;

$\Delta \gamma$ – вертикальный градиент
температур.



Оценки качества моделирования температуры с учетом поправки на разность высот (ΔTh) модельной сетки и метеорологической станции

Номер станции	$T+\Delta Th, ^\circ C$			$T, ^\circ C$			Высота модельного узла, м	Высота станции, м	$\Delta H, м$
	δ	σ	ϵ	δ	σ	ϵ			
1	3,7	5,7	0,3	3,8	5,8	1,0	1083	1050	33
2	1,6	2,1	-0,4	1,7	2,2	-0,9	1351	1300	51
3	3,9	6,0	1,2	4,0	6,0	1,4	840	864	-24
4	3,4	5,6	0,4	3,5	5,7	0,5	1004	1014	-10
5	3,4	5,1	0,7	3,5	5,1	0,3	1362	1325	37
6	4,5	6,1	1,7	5,2	6,3	-2,1	1934	1548	386
7	4,3	5,1	-4,1	5,0	5,8	-5,0	3243	3155	88
8	5,0	8,6	4,6	5,9	7,3	0,4	1192	763	429
9	3,9	6,1	10,7	3,9	6,0	10,5	1005	984	21
10	3,0	4,9	-0,9	3,6	5,0	1,3	1527	1748	-221
11	3,3	4,1	-2,1	9,2	9,8	-9,2	2735	2011	724
12	3,0	4,0	0,4	3,1	4,1	-0,7	2042	1937	105
13	3,1	5,1	1,5	3,4	5,1	1,3	618	600	18
14	3,2	5,6	2,2	3,5	5,6	2,1	781	771	10
15	2,6	4,6	1,0	2,7	4,6	0,6	805	756	49
16	2,5	3,4	0,6	2,5	3,4	0,6	816	817	-1
17	3,8	5,7	2,1	3,9	5,5	1,6	1079	1031	48
18	2,5	3,4	0,8	2,5	3,4	-0,8	1743	1581	162
19	3,5	4,1	1,7	6,1	7,0	-6,0	2917	2132	785
20	2,5	5,8	-4,8	2,6	3,8	-1,9	2979	3277	-298
21	3,0	4,0	-0,2	3,1	4,0	-0,1	2078	2088	-10
22	3,5	5,4	2,1	3,5	5,1	0,8	990	857	133
23	3,2	4,8	0,2	3,2	4,8	0,0	1243	1217	26
24	3,4	4,1	-1,7	2,9	3,8	0,3	1636	1843	-207
25	2,8	3,7	-1,2	3,1	3,9	-1,8	1670	1616	54
26	3,2	5,3	-2,8	3,7	4,9	-2,0	1760	1843	-83
27	4,0	5,2	-2,8	4,1	5,2	-2,9	1750	1740	10
28	3,0	3,7	-1,7	8,0	8,6	-8,0	3425	2788	637
29	2,7	3,5	-2,6	3,0	4,0	-2,1	3259	3614	-355
30	5,0	8,4	-3,2	6,1	9,3	-5,0	2221	2040	181
31	4,9	6,2	-0,2	5,2	6,3	-1,3	1675	1563	112

Верификация прогноза

Event forecast	Event observed		
	Yes	No	Marginal total
Yes	a	b	a + b
No	c	d	c + d
Marginal total	a + c	b + d	a + b + c + d = n

Heidke Skill Scores (HSS) :

$$HSS = \frac{2(ad - bc)}{[(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)]}, \quad (2)$$

Source

http://www.eumetrain.org/data/4/451/english/msg/ver_catg_forec/uos3/uos3_ko1.htm

Параметризация планетарного пограничного слоя

Схема Бужо-Лакарера

$$\frac{\partial e}{\partial t} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{\rho w' e'}}{\partial z} - \overline{u' \frac{\partial U}{\partial z}} - \frac{\partial V}{\partial z} \quad (3)$$

Моменты второго порядка:

$$\overline{w' u'} = -K_m \frac{\partial U}{\partial z}, \quad (4)$$

$$\overline{w' v'} = -K_m \frac{\partial V}{\partial z}, \quad (5)$$

$$\overline{w' e'} = -K_e \frac{\partial e}{\partial z}, \quad (6)$$

$$\overline{w' \theta'} = \begin{cases} -K_h \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} - \gamma_{cg} \right), \\ -K_h \frac{\partial \theta}{\partial z}, \end{cases} \quad (7)$$

Коэффициенты

вертикальной диффузии :

$$\varepsilon = C_\varepsilon \frac{e^3}{\ell}, \quad (8)$$

$$\varepsilon = C_\varepsilon \frac{e^3}{\ell}, \quad (9)$$

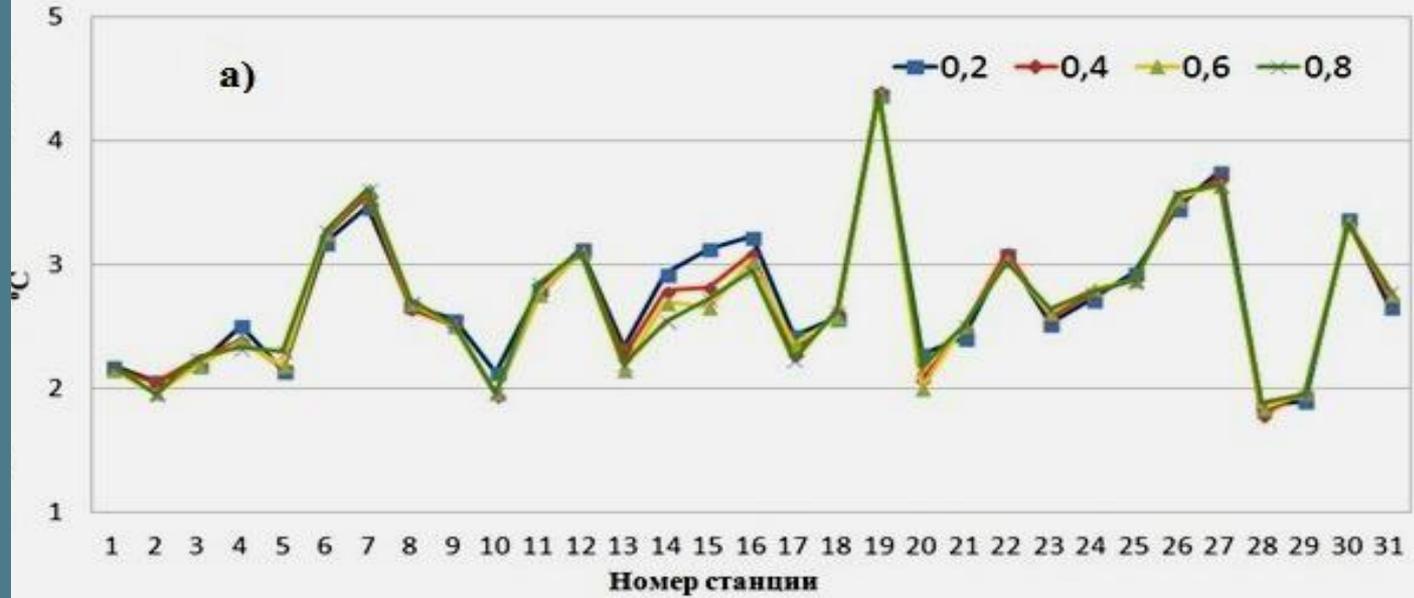
$$\int_z^{z+l_{up}} \beta(\theta(z) - \theta(z')) dz' = e(z) \quad (10a)$$

$$\int_{z-l_{down}}^z \beta(\theta(z') - \theta(z)) dz' = e(z) \quad (10b)$$

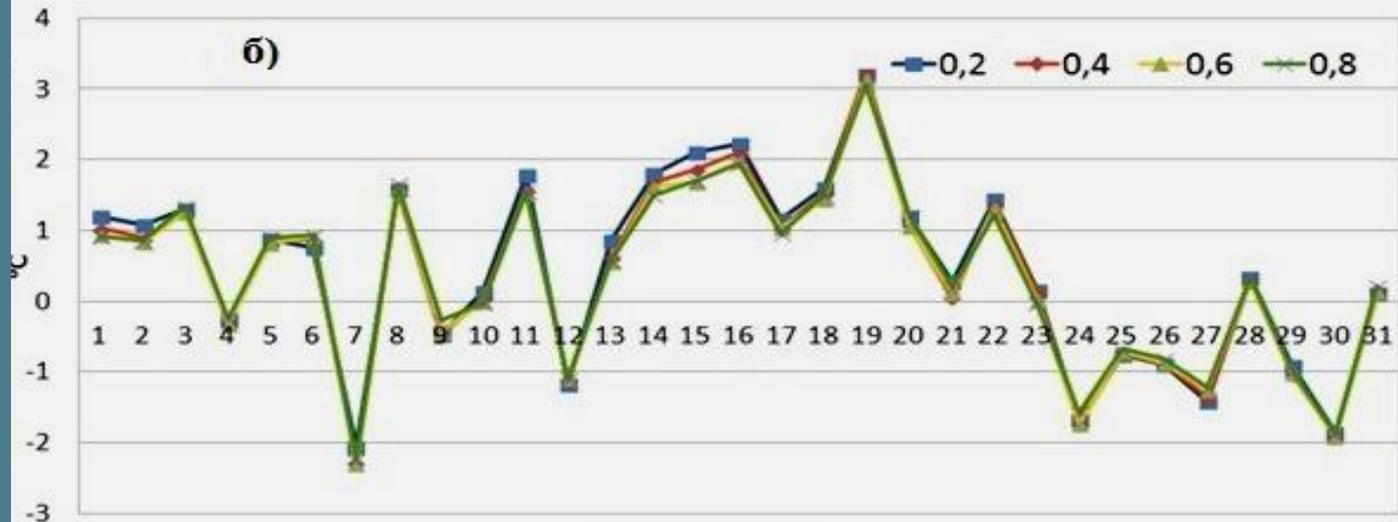
$$z - l_{down} \geq 0$$

Средние значения а) квадратичных, б) систематических погрешностей при моделировании температуры на станциях в зависимости от пути смещения с различными эмпирическими коэффициентами $C_k = (0,2; 0,4; 0,6; 0,8)$ при $C_\varepsilon = 0,7$

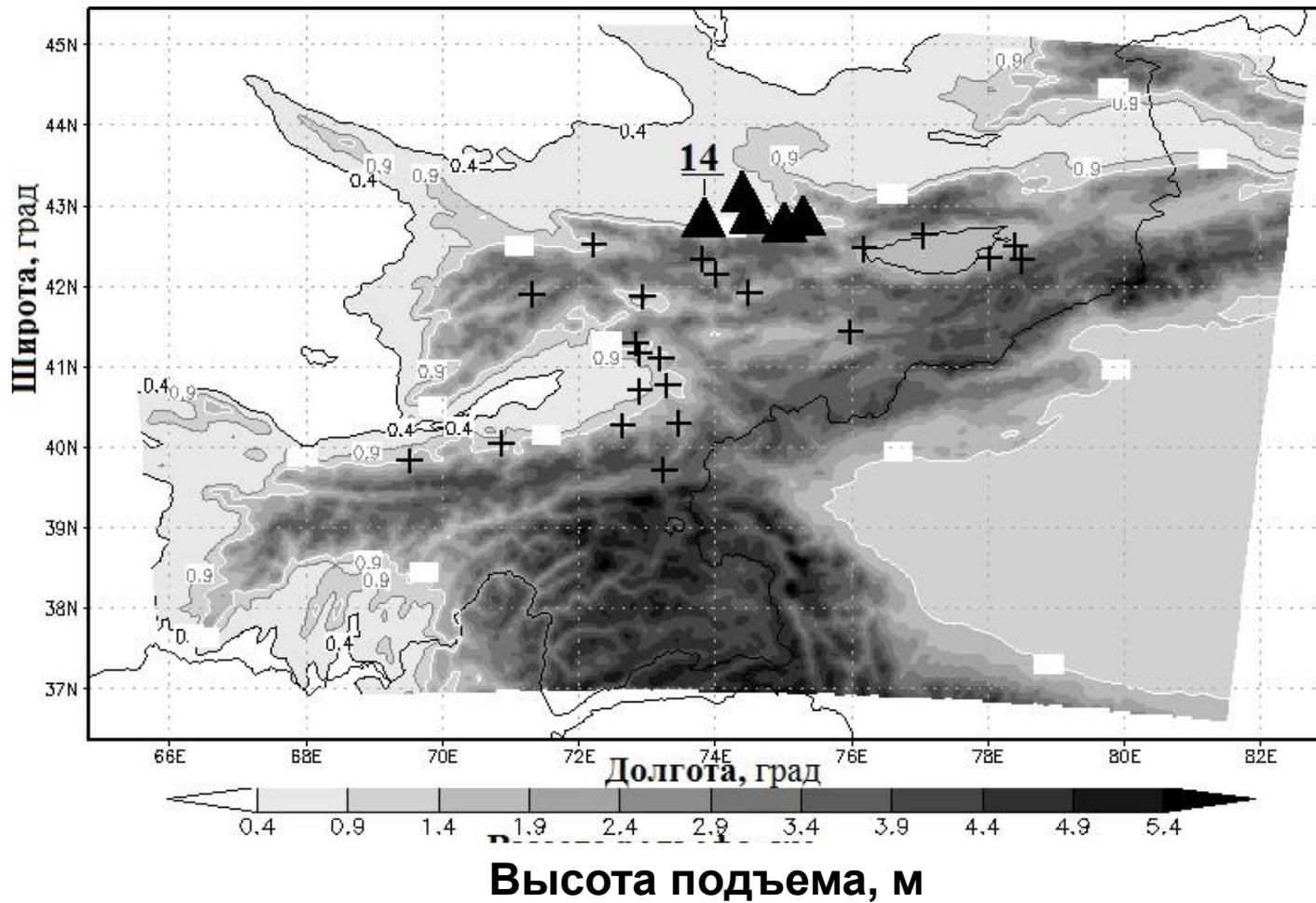
RMSE Temperature, C



Mean systematic error, C

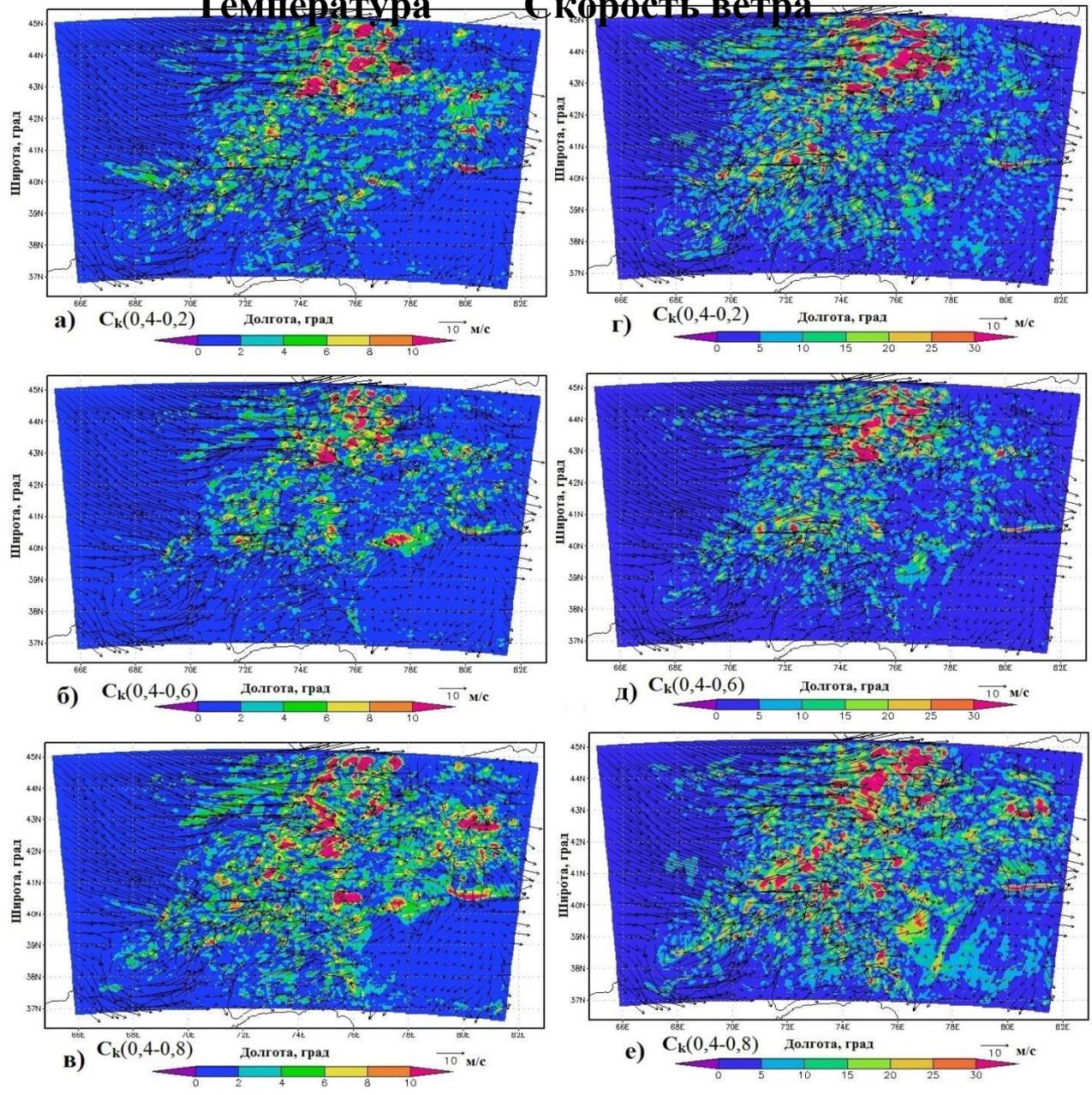


Расположение метеорологических станций



$$\Delta f(x, y, z, t) = \frac{f(x, y, z, t, C_2) - f(x, y, z, t, C_1)}{C_2 - C_1}, \quad (11)$$

Температура Скорость ветра



Суточный ход средней относительной погрешности прогноза температуры для $C_k = (0.2, 0.4, 0.6, 0.8)$ при $C_\varepsilon = 0.7$

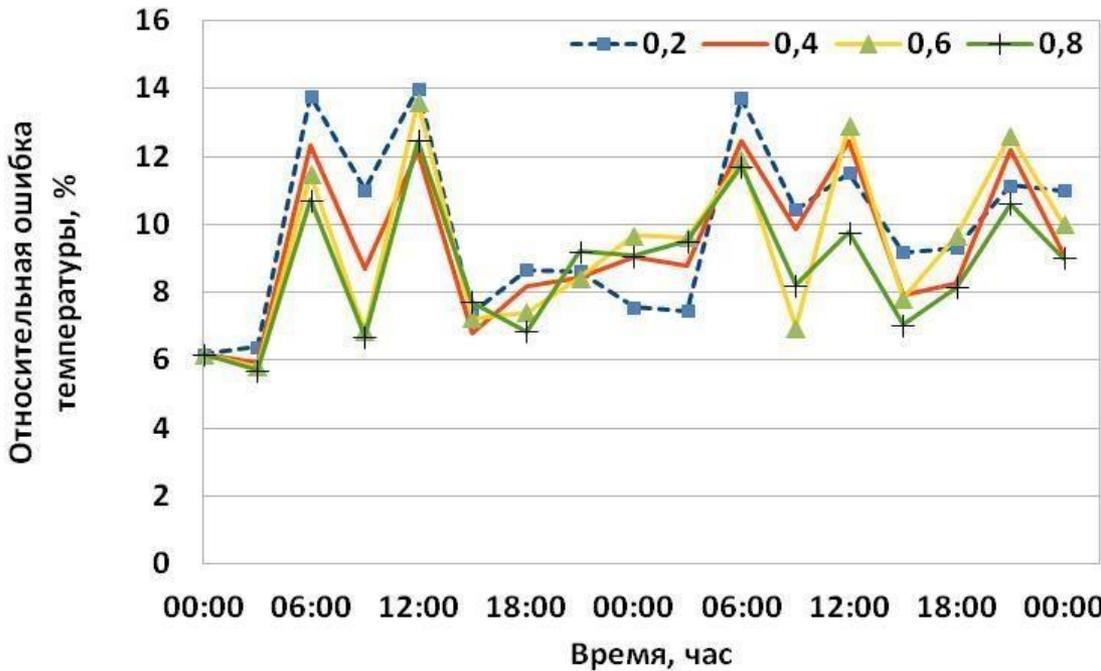
$$OTH = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{|X_{\text{п}} - X_{\text{ф}}|}{X_{\text{ф}}} \right) \times 100\%,$$

$X_{\text{п}}$ - прогноз;
 $X_{\text{ф}}$ - наблюдение
 OTH - относительная погрешность прогноза

Суточный ход относительной погрешности температуры, усредненной по 30 симуляциям

Анализ суточного хода погрешности показывает, что в период с 06:00 до 12:00 UTC наблюдается наибольшая погрешность, что соответствует развитию горно-долинной циркуляции.

re, %



Чувствительность в зависимости от пути смешивания с эмпирическими коэффициентами C_k

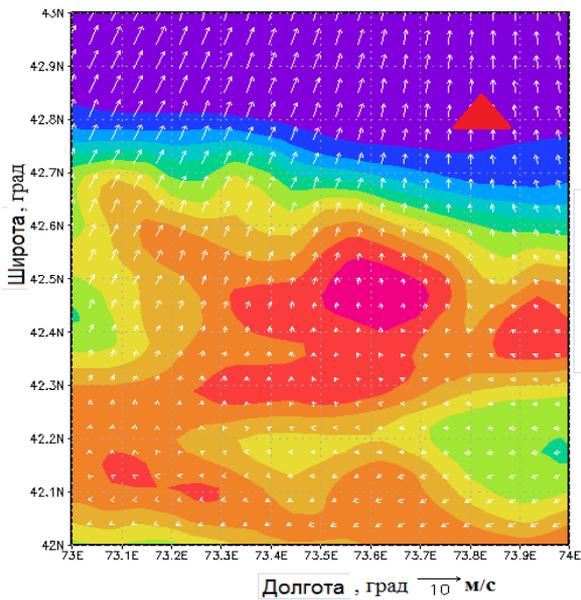
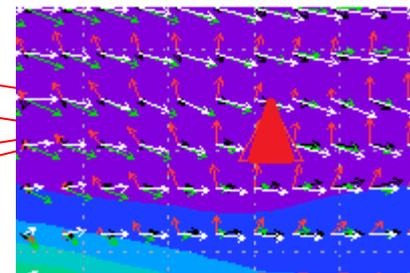
Векторы скорости ветра :

Чер $(C_k=0,4)$;

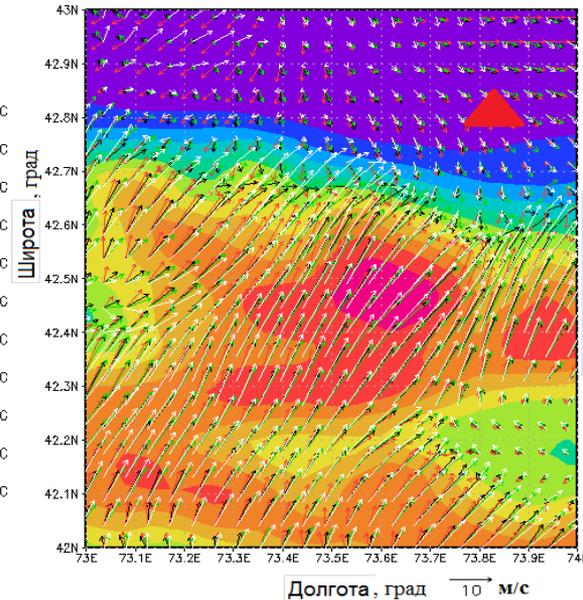
Крас $(C_k =$

Зел

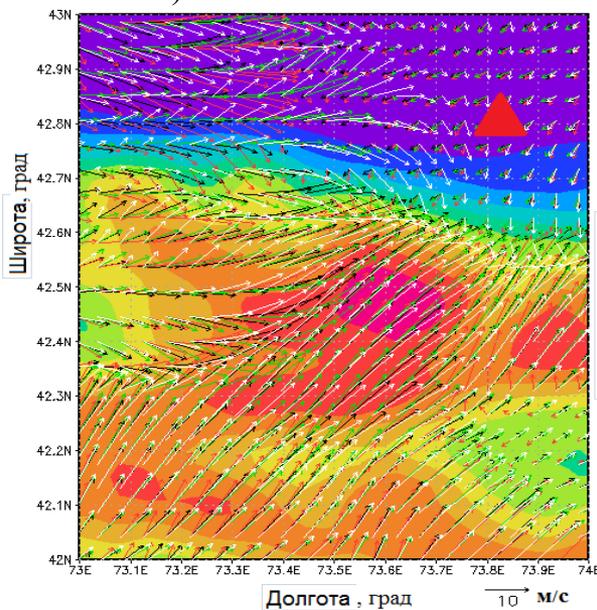
Бел



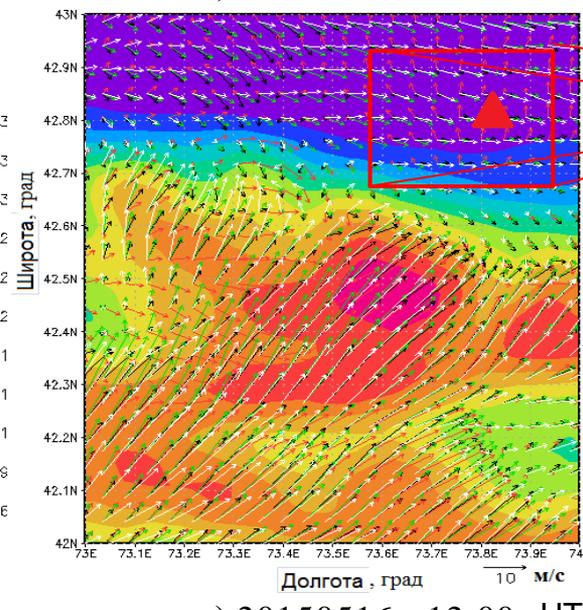
а) 20150515 00:00 UTC



б) 20150516 06:00 UTC

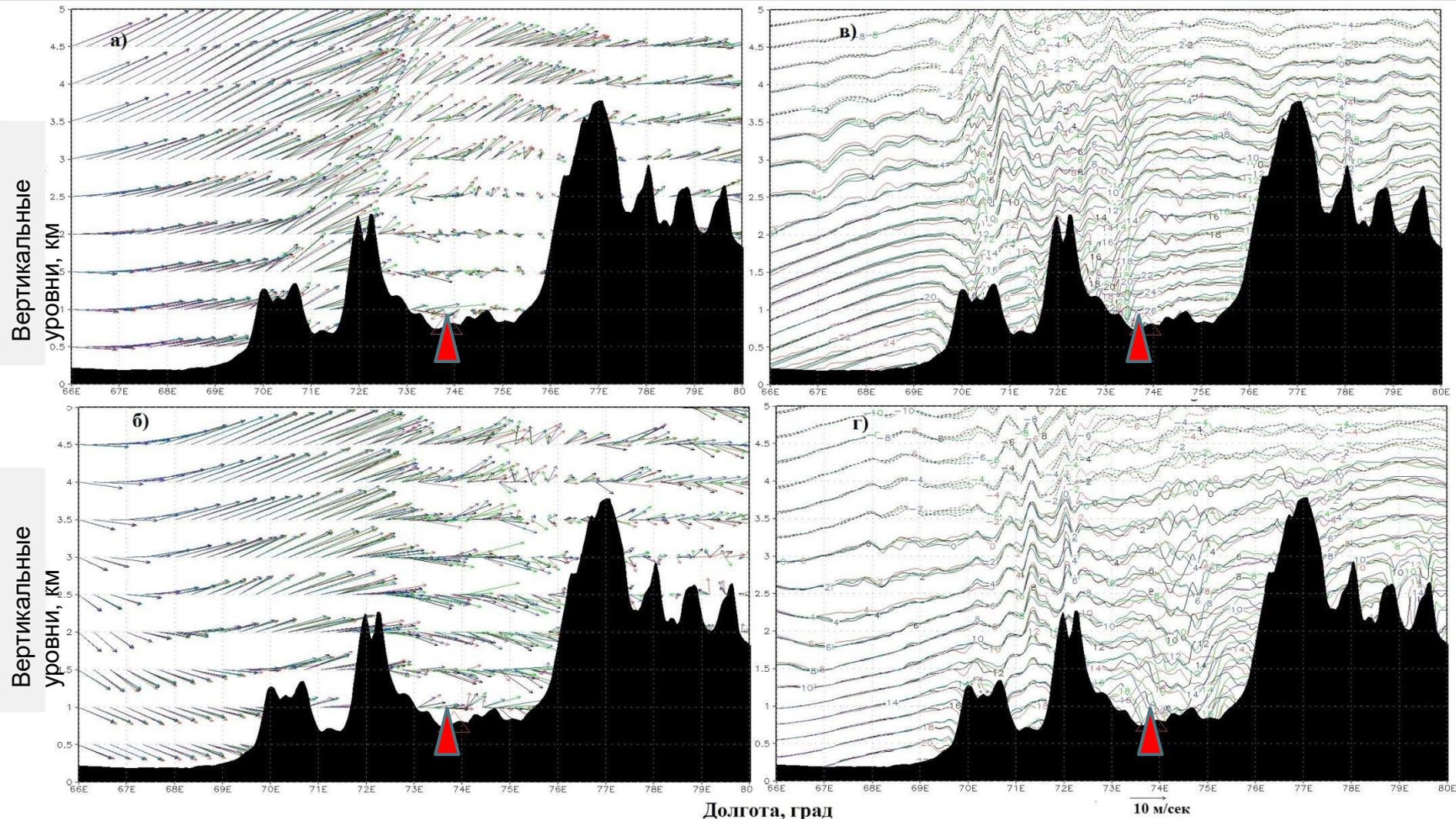


в) 20150516 09:00 UTC



г) 20150516 12:00 UTC

Вертикальное сечение



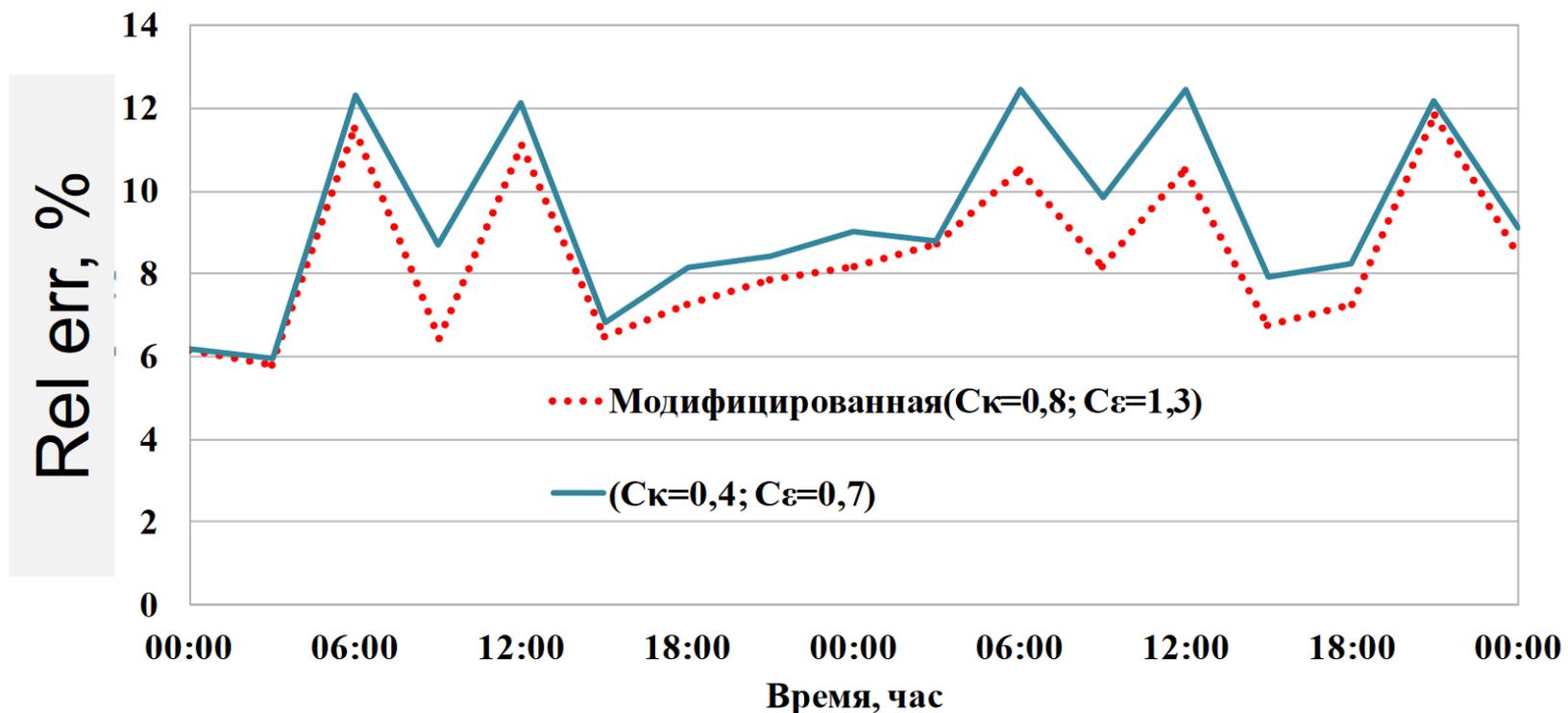
а) скорость ветра за срок 20150516 09:00, б) скорость ветра за срок 20150516 015:00, в) температура за срок 20150516 09:00, г) температура за срок 20150516 15:00; цвета в зависимости от эмпирического коэффициента: черный ($C_k = 0,4$), красный (зеленый синий) ($C_k = 0,8$)

$$H = U/N$$

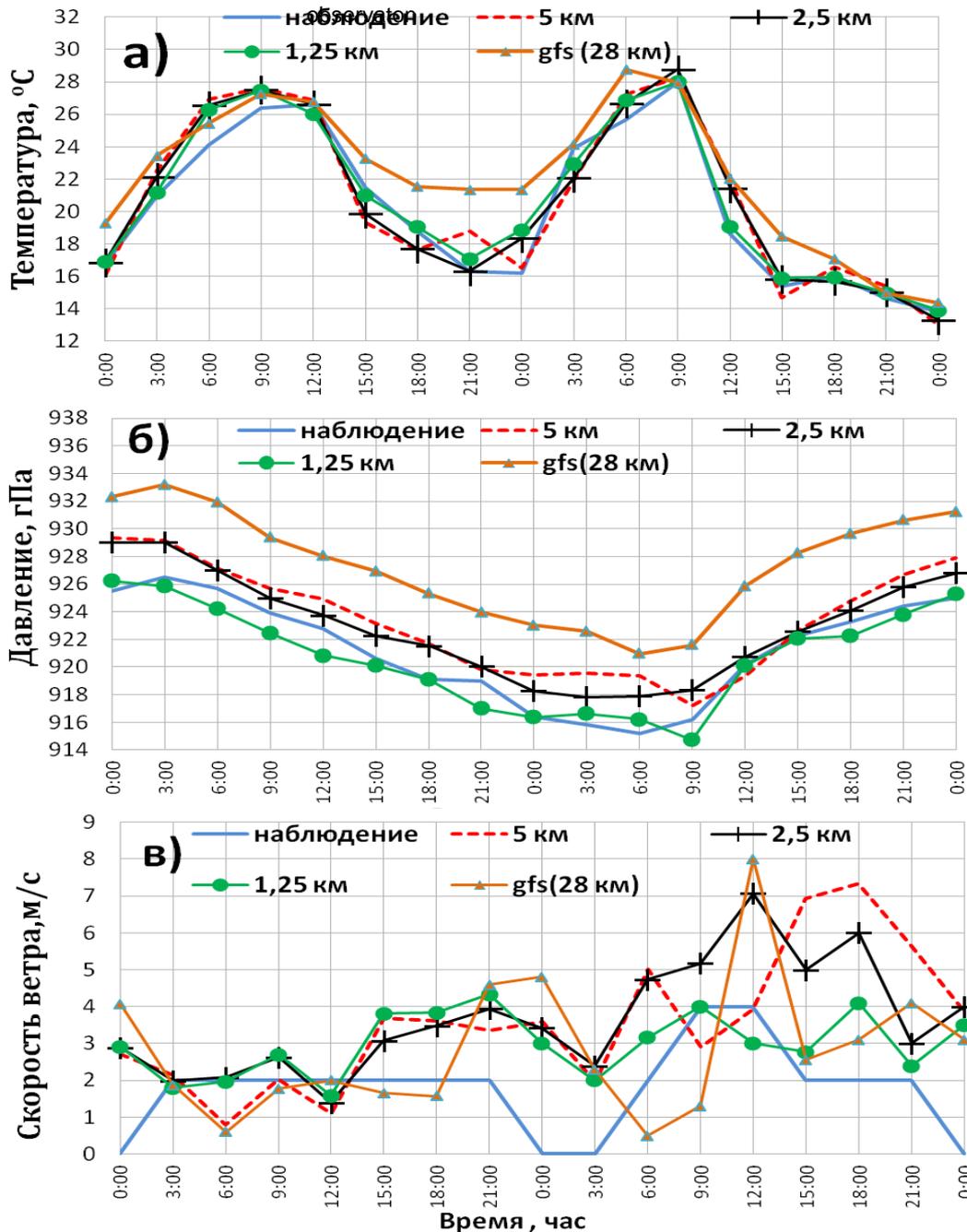
(U) 20 м/с и $N = 0,01 \text{ с}^{-1}$ $H = 2 \text{ км}$.

Адаптация и оптимизация атмосферной гидродинамической модели

- ✓ микрофизика облаков – схема WSM6 (Hong et al., 2006);
- ✓ длинноволновая и коротковолновая радиация – схема RRTMG (Iacono et al., 2008);
- ✓ процессы на поверхности и в почве – схема Noah (Yang et al., 2011);
- ✓ пограничный слой – схема Бужо-Лакаре (Bougeault et al., 1989);
- ✓ конвективные процессы – схема Каина-Фритша (Kain, 2004).



Адаптация и оптимизация гидродинамической модели атмосферы



Оценка влияния ассимиляции стандартных измерений на гидродинамический прогноз погоды в районе со сложным рельефом

3D-Var

$$J(X) = \frac{1}{2} (X - X_B)^T B^{-1} (X - X_B) + \frac{1}{2} (Y - HX)^T R^{-1} (Y - HX) \quad (12)$$

Где X - вектор состояния атмосферы, X_B - фоновое состояние, Y - наблюдение, H - оператор наблюдения, B - ковариационная матрица погрешности модели, R - матрица погрешности наблюдения

Ассимилированы:

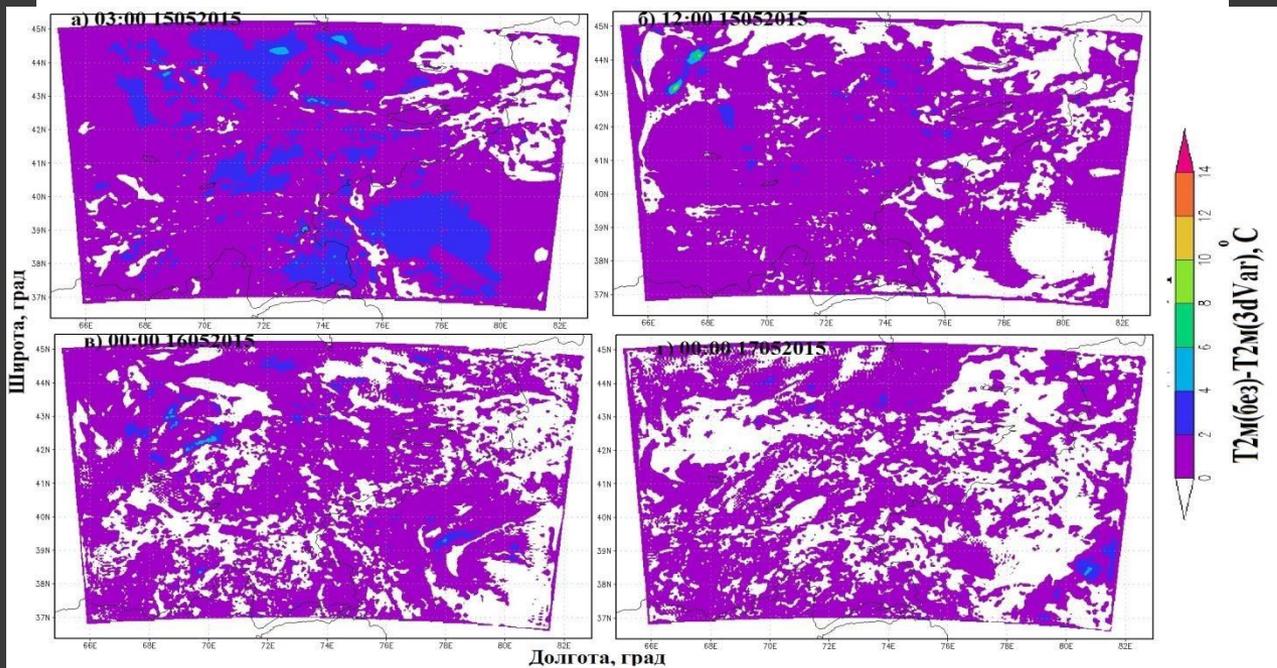
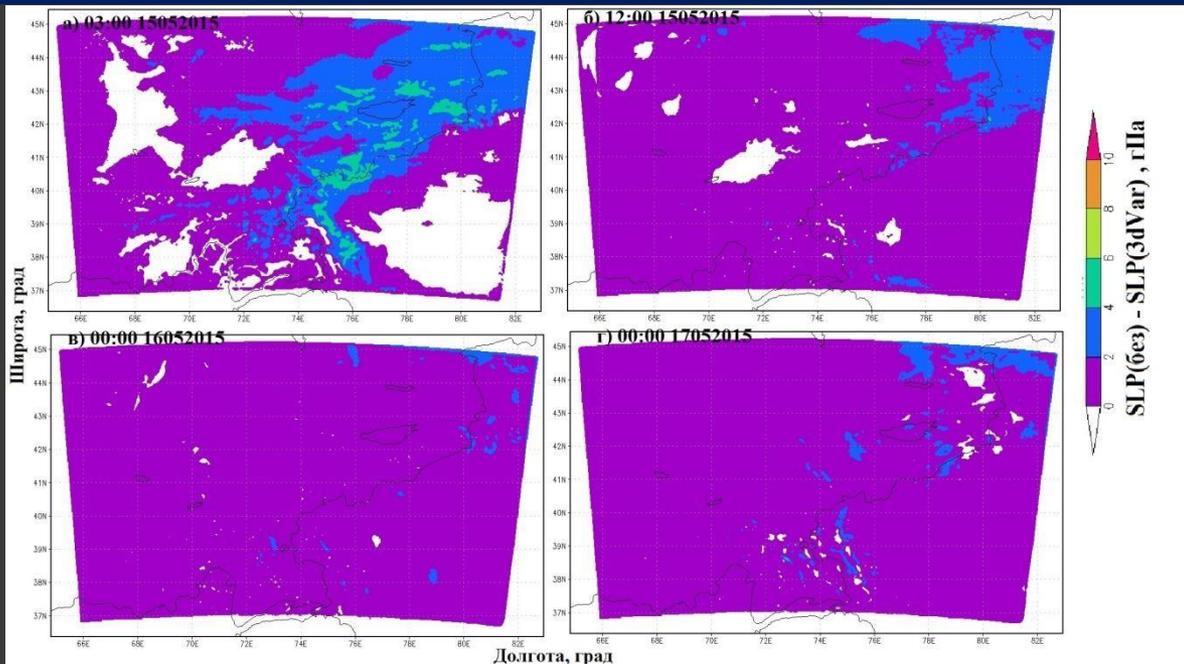
- поверхностное атмосферное давление;
- температура воздуха на высоте 2 м;
- зональные и меридиональные компоненты скорости ветра на высоте 10 м;
- температура точки росы;

получены из наблюдений на 31 метеорологической станции, которые участвуют в международном обмене. В то время как только 7 метеорологических станций в регионе участвуют в международном обмене;

Результаты сравнения моделирования с ассимиляцией и без ассимиляции отдельно для станций, расположенных в долинах (№ 13, 14) и в горах (№ 22, 30)

Estimated variables	№ stations	Average value	Mean absolute error (δ)		RMSE (σ)		Mean systematic error (ϵ)	
			No assimilation	With assimilation	No assimilation	With assimilation	No assimilation	With assimilation
Temperature, C	13	18,8	1,7	1,1	2,2	2,0	0,6	0,4
	14	18,5	2,2	1,5	2,7	2,0	1,6	-0,1
	22	17,3	2,4	2,3	3,1	3,0	1,3	1,1
	30	12,9	2,4	2,3	3,3	3,2	-1,8	-1,1
Pressure, hPa	13	944,83	2,90	1,31	1,24	1,23	1,18	-1,00
	14	924,55	2,18	1,24	2,33	1,48	2,10	0,96
	22	915,72	2,09	1,32	2,31	1,66	1,97	0,80
	30	798,81	1,90	1,21	1,18	1,15	-1,19	-0,89
Wind speed, m/sec	13	2,4	2,3	2,3	2,8	2,7	1,7	1,6
	14	1,6	1,7	1,7	2,1	2,1	1,3	1,1
	22	0,8	4,0	4,0	6,5	6,5	2,9	2,9
	30	2,1	2,2	2,2	4,7	4,6	0,9	1,2

Влияние ассимиляции данных в зависимости от заблаговременности



1. Разработана методология прогноза погоды на территории со сложной орографией. Продемонстрирована особая важность параметризации конвекции, микрофизики облаков и PBL. Разработанная система гидродинамического моделирования, внедренная в оперативную работу Кыргызгидромета, позволила повысить качество прогнозов, что улучшило прогноз стихийных бедствий.
2. Была предложена, реализована и протестирована модифицированная схема параметризации PBL. Показано улучшение качества прогноза метеорологических величин при использовании модифицированной схемы параметризации PBL, особенно в районе, где рельеф подвержен влиянию крупномасштабных потоков.
3. Разработан и реализован пакет в виде программного модуля для верификации и ассимиляции гидродинамического прогноза метеорологических переменных в районе со сложной орографией.
4. Внедренная система гидродинамического моделирования атмосферных процессов в Кыргызгидромете повысила точность прогнозов погоды на 1 сутки с 89% до 94%, с 87% до 92% на 3 суток. А также это позволило давать более точные прогнозы в сложных горных районах.
5. В будущем Кыргызгидромет планирует добавить в созданную систему модели COSMO (новая модель ICON-meso(sless)), WRF-hydro и WRF- Climate) для улучшения прогноза стихийных бедствий и более эффективного планирования адаптационных мероприятий (мероприятий по адаптации к изменению климата).
6. Провести работы по верификации для подтверждения точности сезонных и субсезонных прогнозов китайской модели и проведение физического даунскейлинга с помощью модели Chines

Спасибо за внимание!
Конул бурганызга чон рахмат!
Thank you for your Attention!