

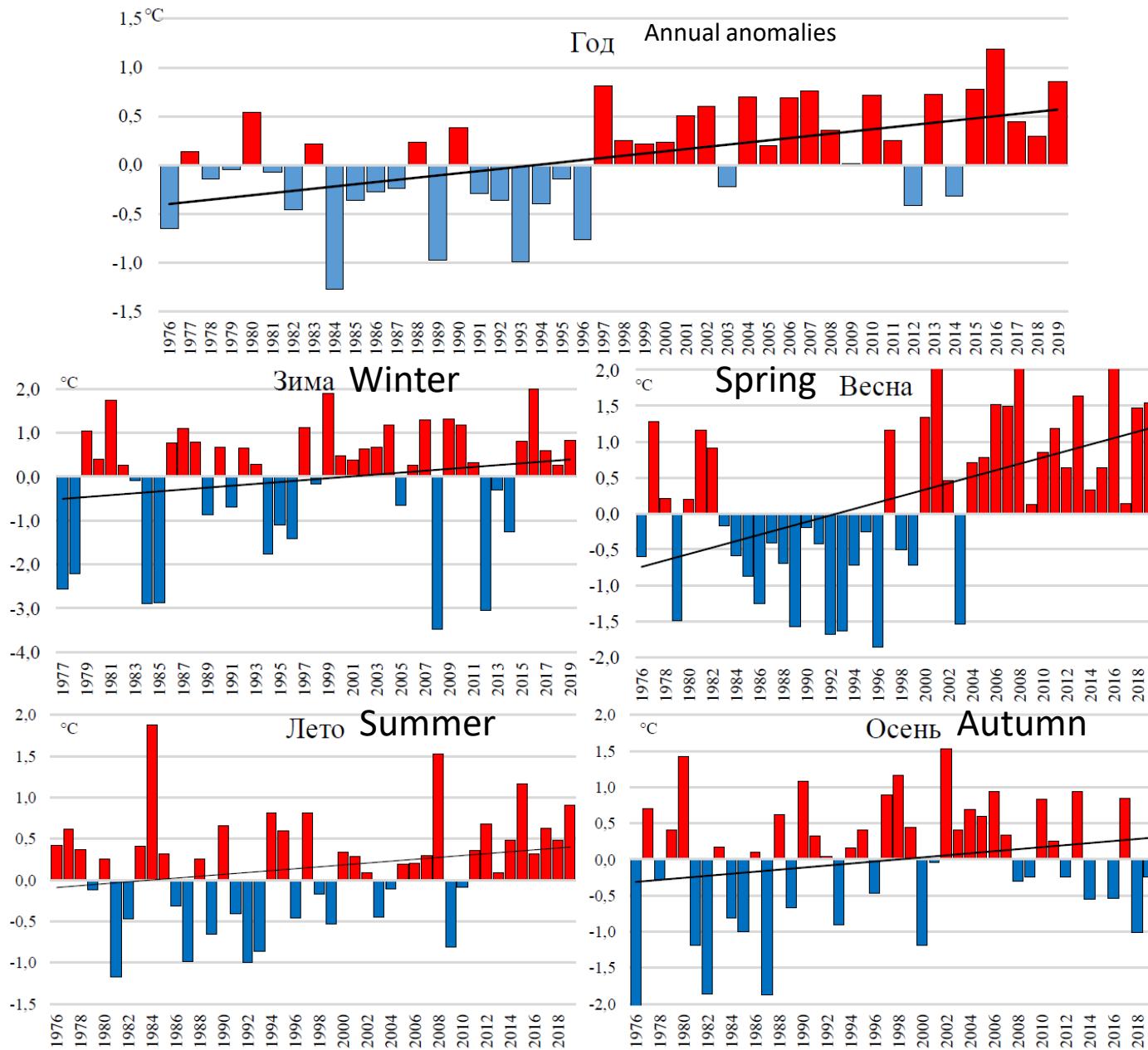


UNIVERSITY OF CENTRAL ASIA  
MOUNTAIN SOCIETIES RESEARCH INSTITUTE

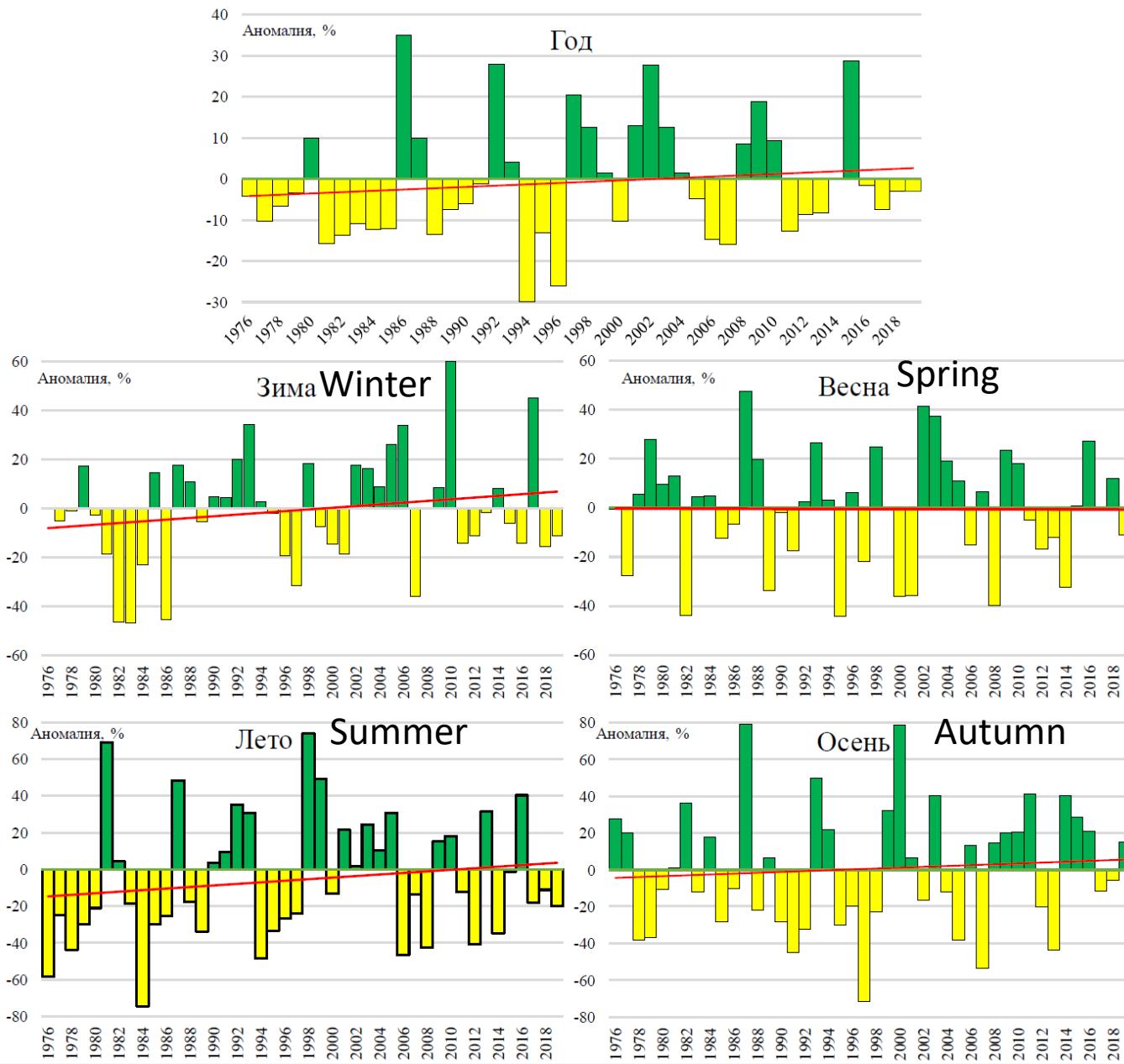
## **Impact of Climate Change on Natural Disasters in Kyrgyzstan and Ways to Monitoring and Forecast**

Isaev Erkin  
PhD  
Research Fellow

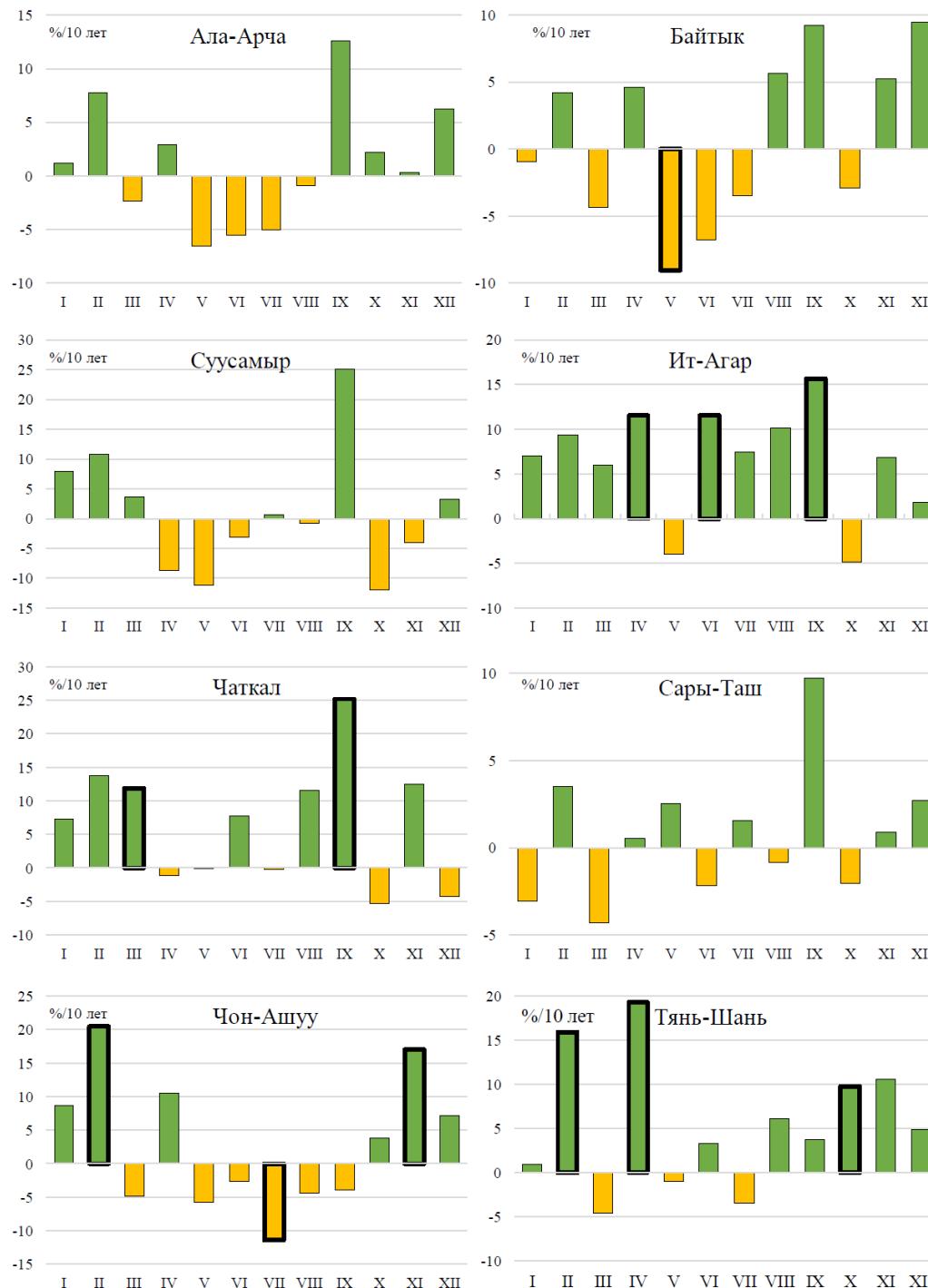
**2022**



Time series of anomalies of annual and seasonal air temperatures (°C) averaged over the territory of Kyrgyzstan for the period 1976-2019. Anomalies are calculated relative to the period 1981 - 2010. Black line - linear trend



Time series of anomalies of annual and seasonal precipitation amounts (in %) for the period 1976–2019, spatially averaged over the territory of Kyrgyzstan. Anomalies are calculated relative to the base period 1981–2010. Red line - linear trend



Intra-annual distribution of the linear trend coefficient (rate of change) of monthly precipitation (%/10 years) calculated on the basis of observations for the period 1976-2019. (months with statistically significant value are highlighted by bold frame)

# Natural Disasters

High-altitude lakes with breakthrough risk



Landslides



Avalanches



Strong winds



Floods



Mudflows



About 20% of 1,000 high-altitude lakes in the country have the breakthrough threat

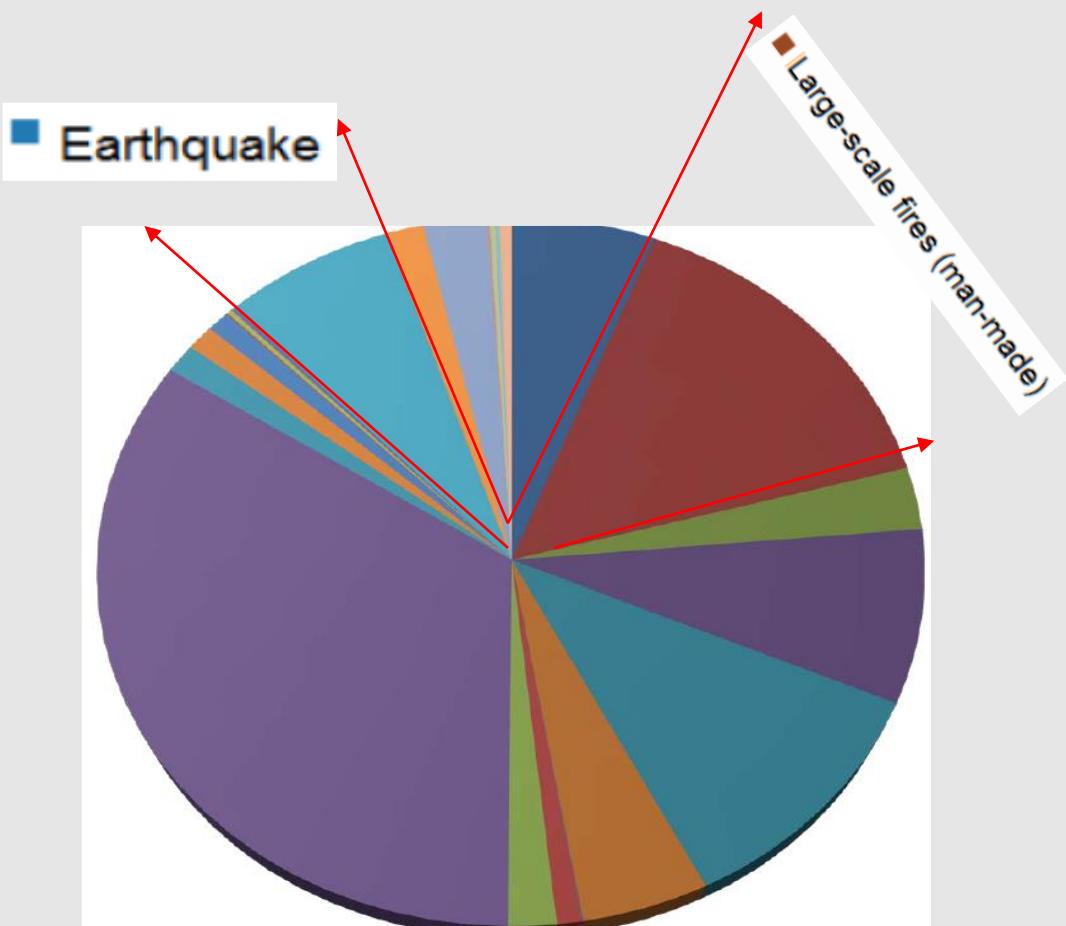
- There are 30,000 avalanche areas, 772 of which are having the direct threat for the population and infrastructure
- 5,000 landslides that are having the threat to about 7.5% of population (509 settlements)
- Mudflows and floods occur within the basin of 3,103 rivers, and about 1,000 of settlements are exposed to dangers

# Emergency Situation Distribution

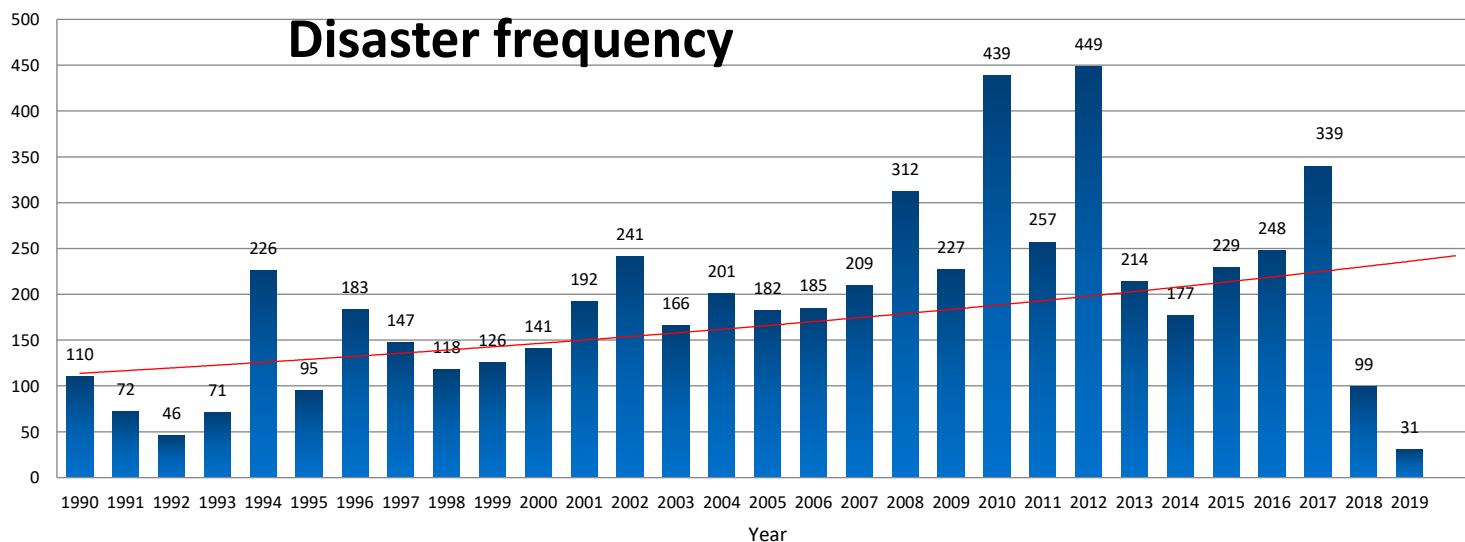
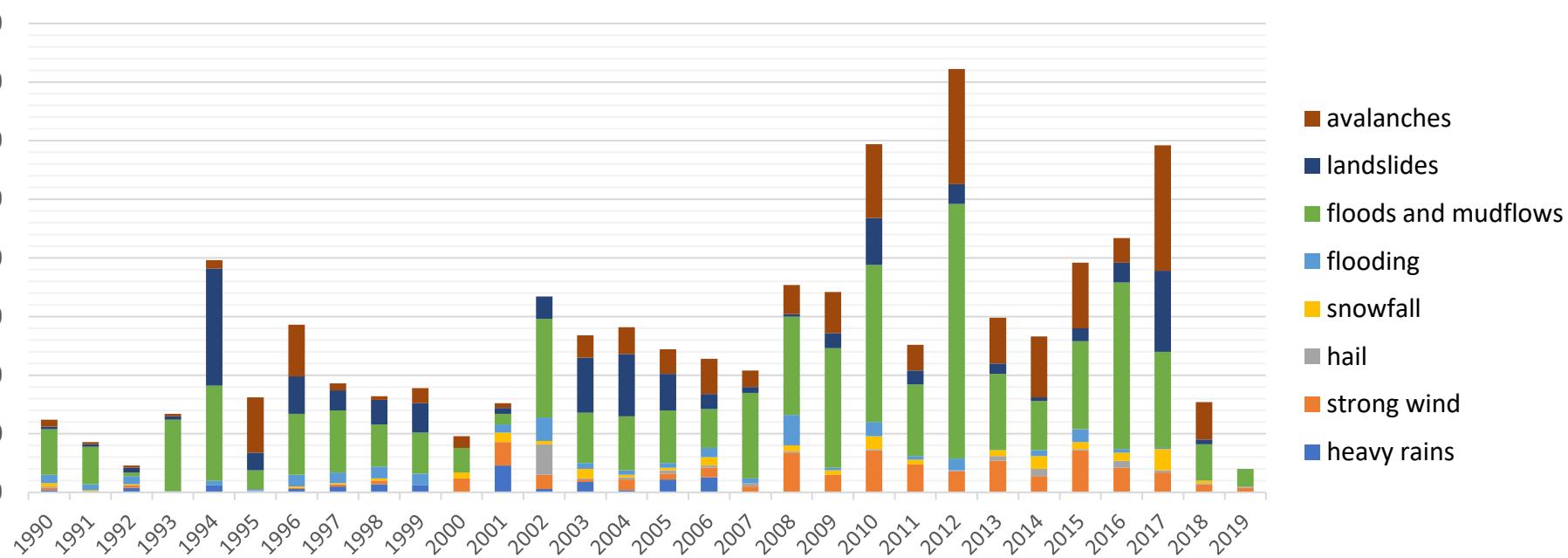
- Earthquake
- Avalanches
- Flooding
- Strong Winds
- Large-scale fires (man-made)
- Landslide
- Snowstorms
- Ice jam
- Snowfall
- Mudflow
- Flood
- Rockslide
- Hails

Approximately 70% -- hydrometeorological disasters

Примерно 70 % гидрометеорологические стихийные явления



The number of registered emergencies on the territory of the Kyrgyz Republic from 1990 to 2019.



## Steps of works according UNESCAP project “Development of decision-making tools for geo-drought monitoring and early warning in Central Asia” :

### Forecasts for more than 30 days, sub-season, season (lead time more than 30 days)

**1) Software for extracting information from satellite about: land cover, soil moisture, soil temperature. (10-20M)**

**2) Long-term forecast of precipitation and temperatures (lead time more than 30 days)**

Hydrological model

3-a) Model of soil drought

3-b) SPI drought model  
(based on perennial precipitation archive)

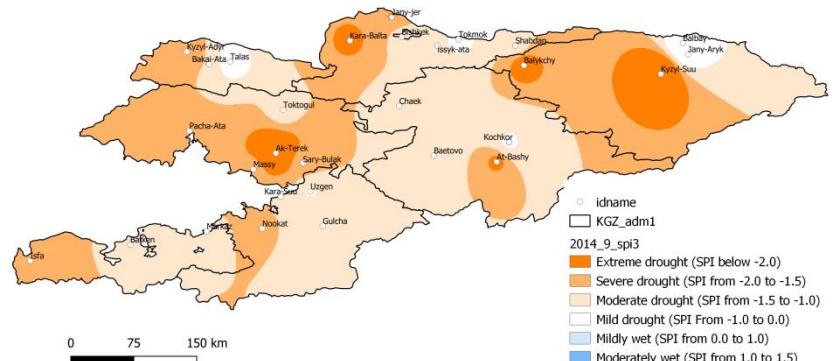
4) Fire monitoring system and forecasting model

Local rural users (farmers)

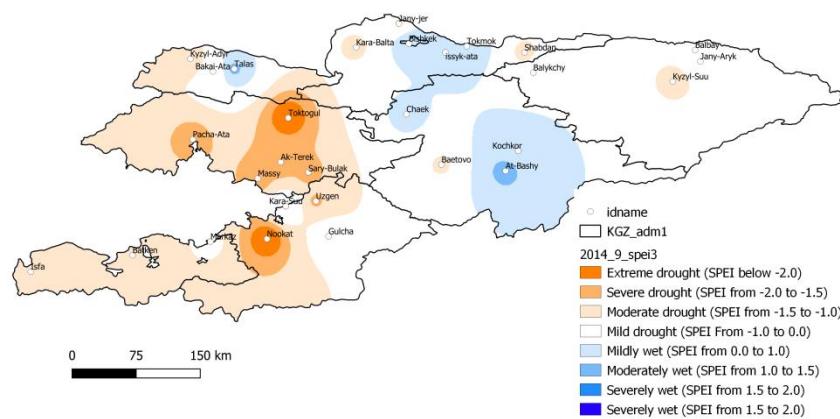
## Used Data

	<b>Period</b>	<b>Information</b>
<b>Remote sensing data</b>		
MODIS Drought indices (VHI,NDDI, VSWI, TCI, VCI, NDWI)	May-Sep(2000-2019)	Modis-TERRA(1km)
Sentinel	May-Sep(2016-2018)	2A(10m)
<b>Ground observed data</b>	1927–2019	
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,m <sup>3</sup> / second
<b>Statistic data</b>		
Yield productivity	1991-2018	for 7 oblast, ton/ha
<b>GIS data and thematic maps</b>		
Country profile		shp
Boundary		

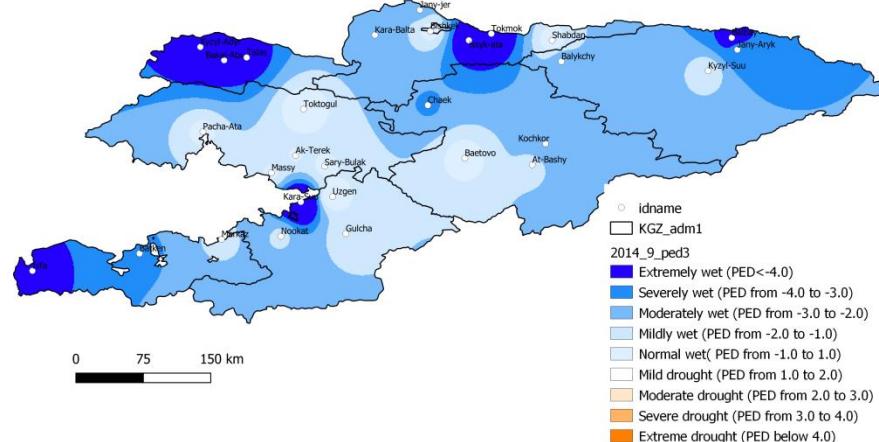
2014\_sep\_win(jul-sep)



spi3

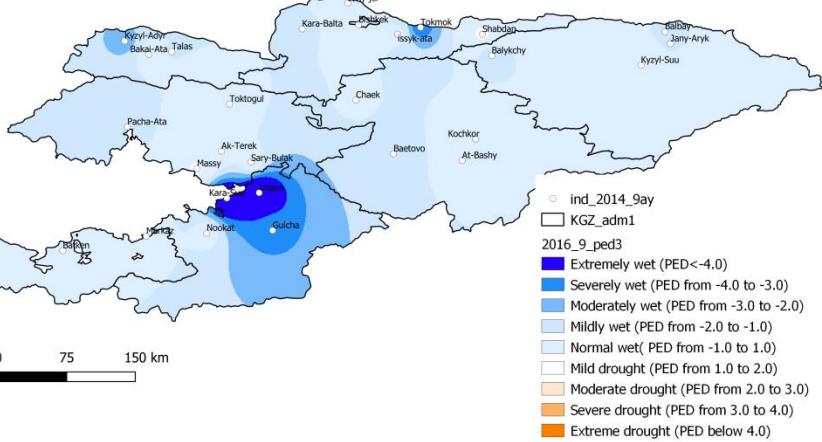
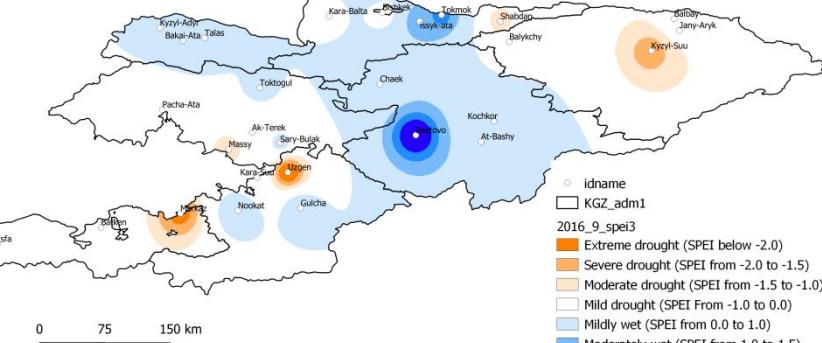
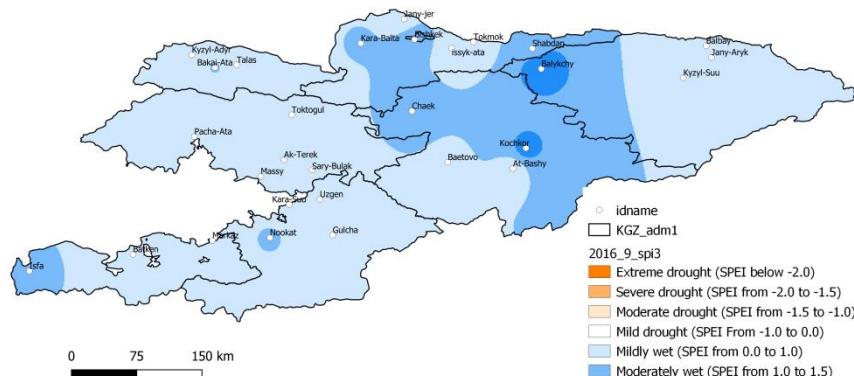


spei3

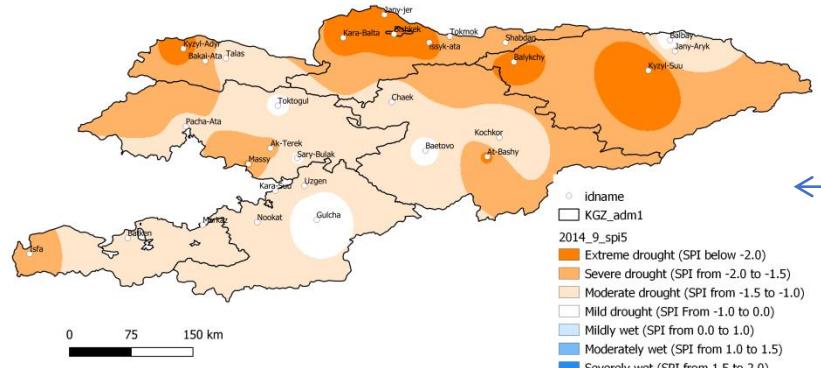


PED3

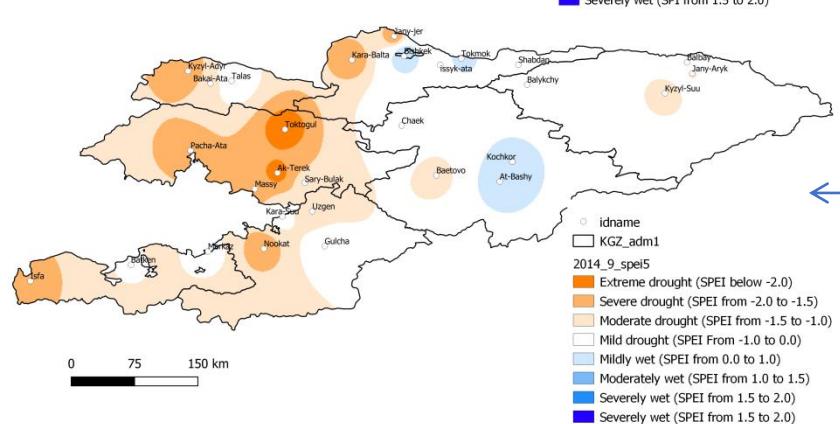
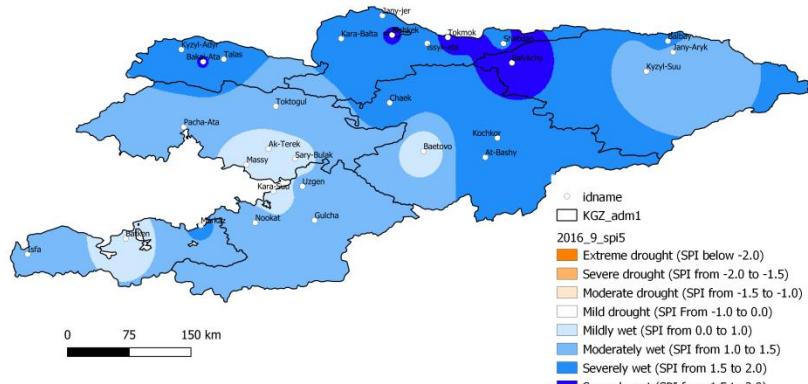
2016\_sep\_win(jul-sep)



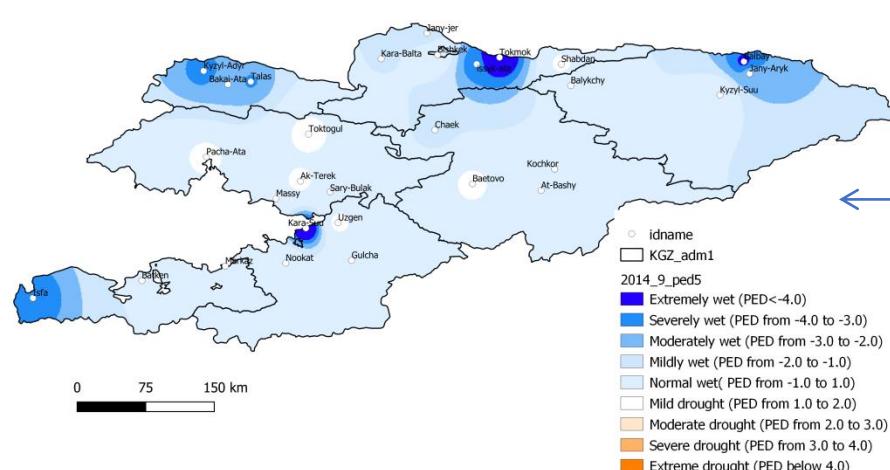
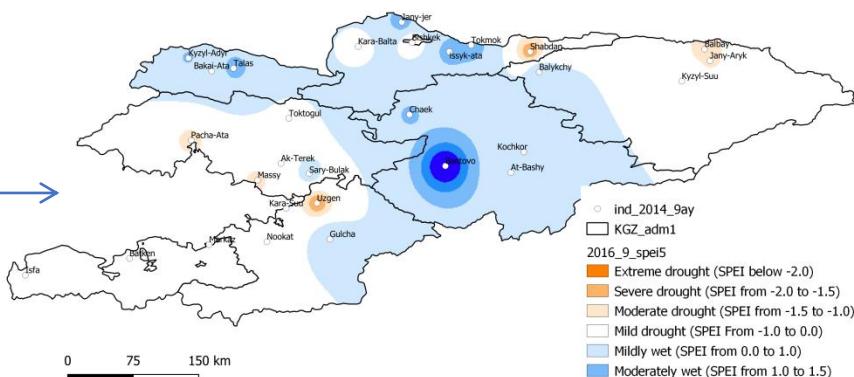
2014\_sep\_win(may-sep)



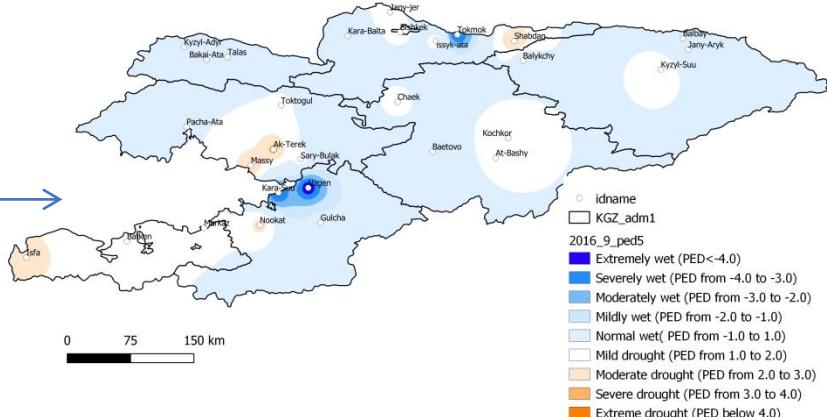
2016\_sep\_win(may-sep)



spei5



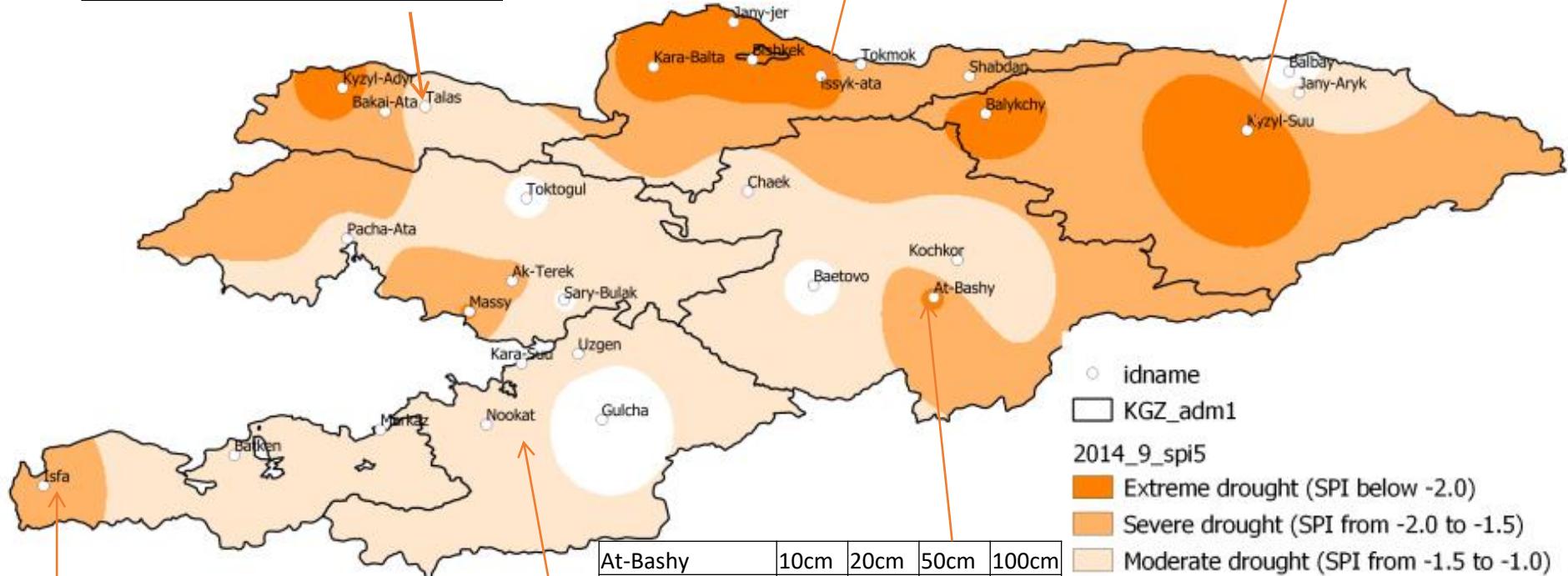
PED5



Talas	10cm	20cm	50cm	100cm
				m
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

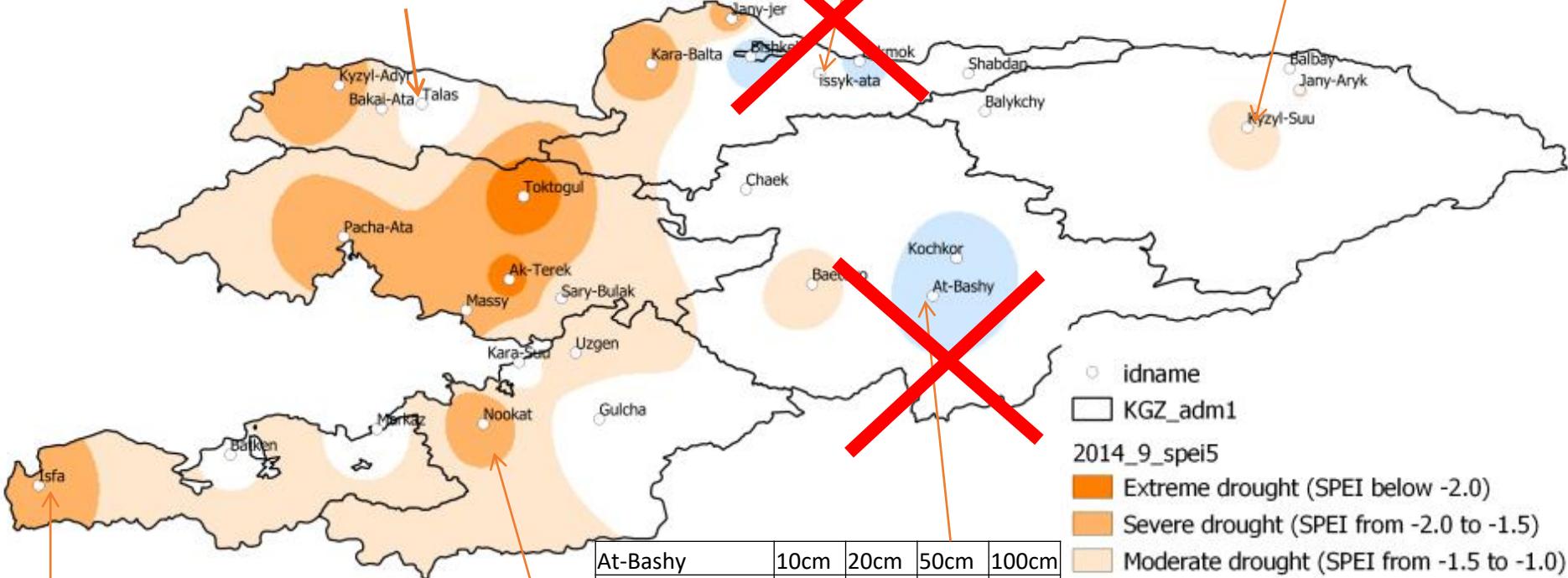
At-Bashy	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	38	38	84	156
2016(may-sep)	50	50	113	189

Nookat	10cm	20cm	50cm
2014(may-sep)	26	26	49
2016(may-sep)	28	28	56

Talas	10cm	20cm	50cm	100cm
				m
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

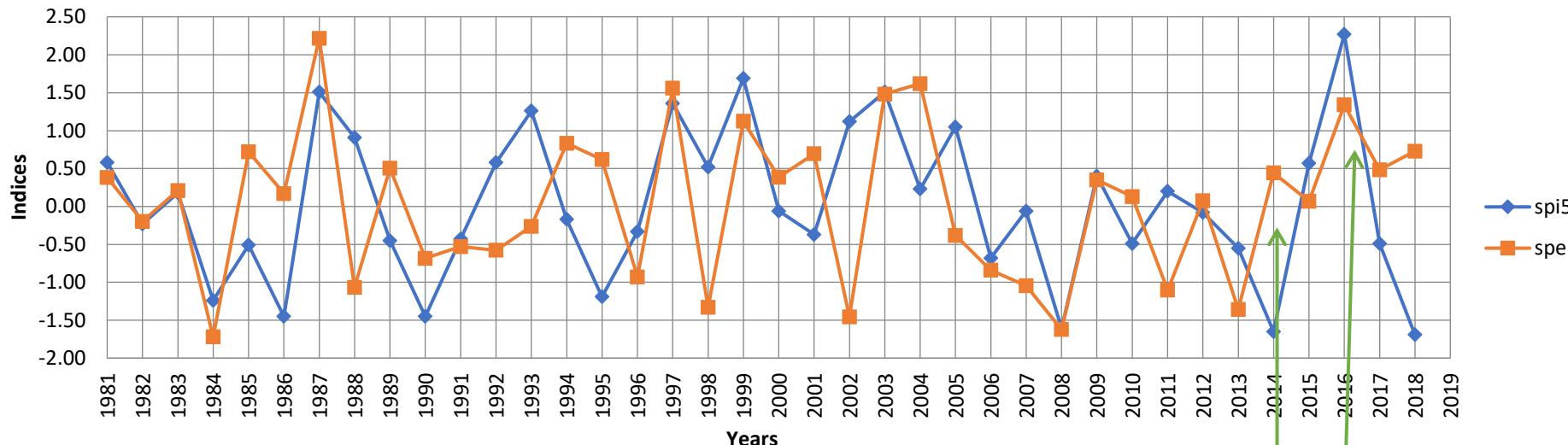


Isfana	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	30	30	62	97
2016(may-sep)	45	45	142	178

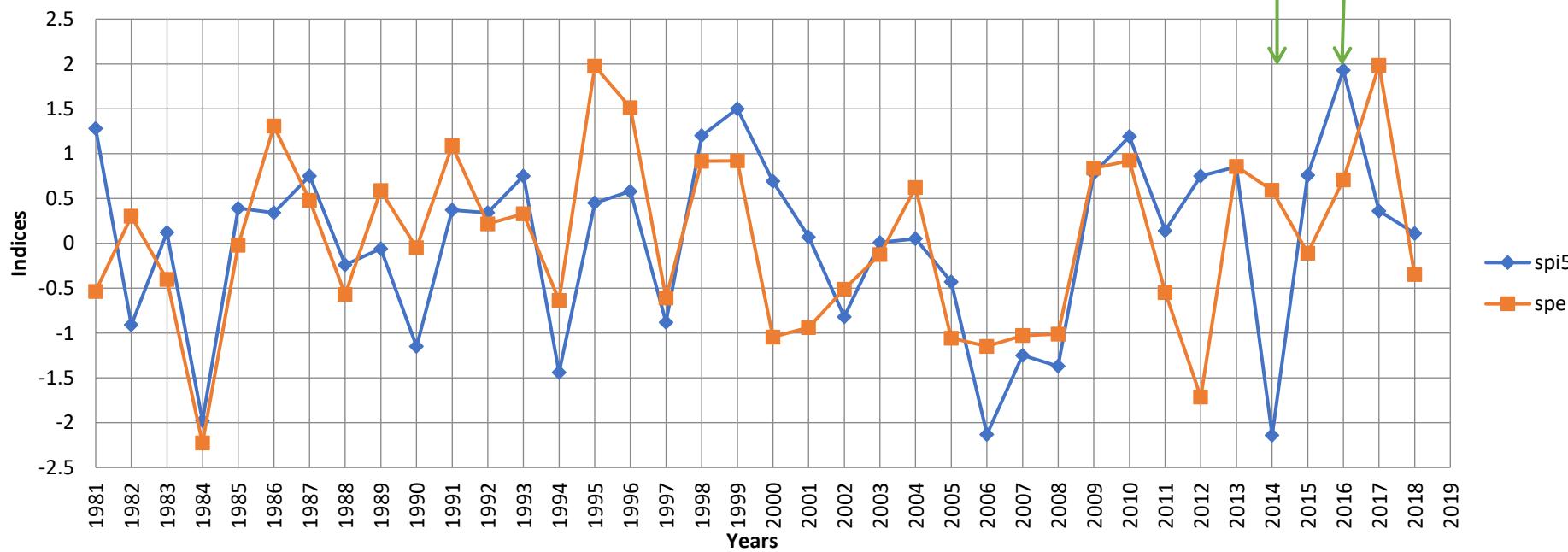
At-Bashy	10cm	20cm	50cm	100cm
2014(may-sep)	38	38	84	156
2016(may-sep)	50	50	113	189

Nookat	10cm	20cm	50cm
2014(may-sep)	26	26	49
2016(may-sep)	28	28	56

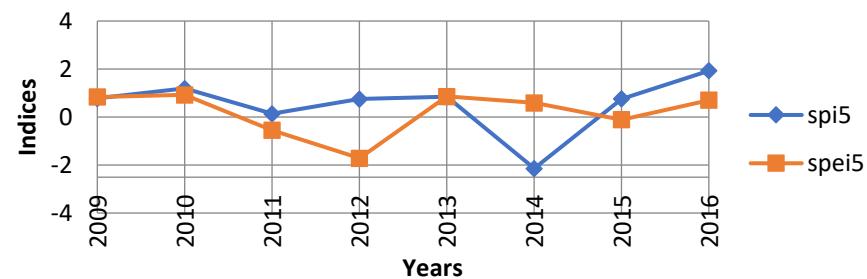
## Tokmok\_(may-sep)



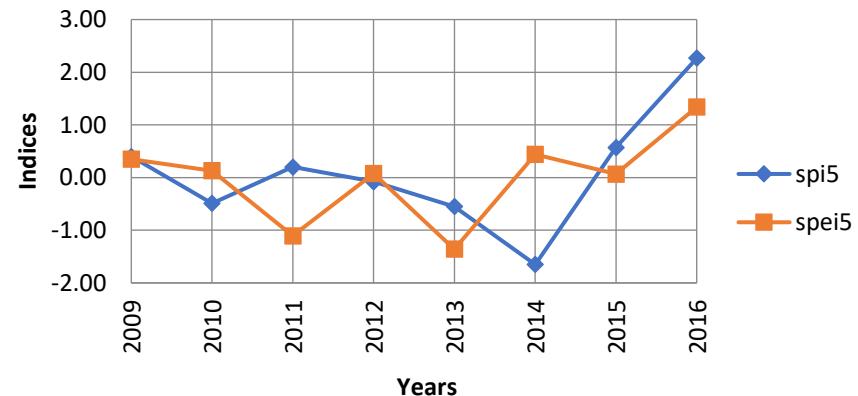
## At-Bashy\_(may-sep)



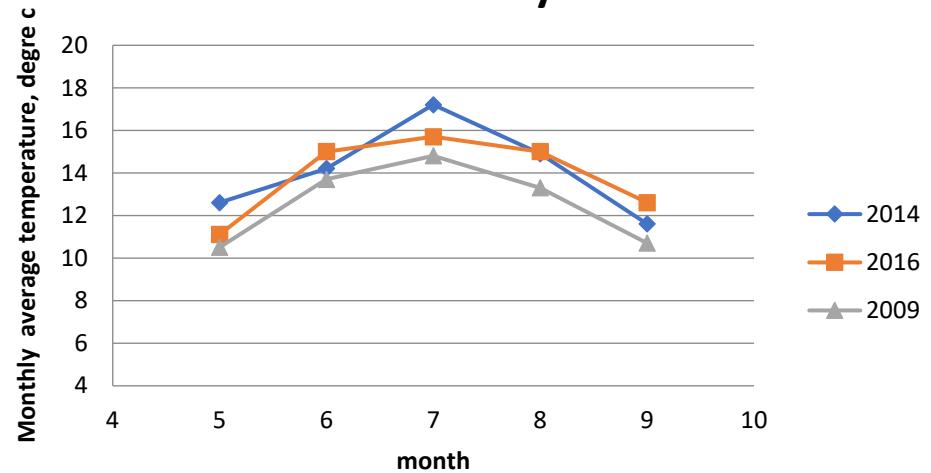
### At-Bashy\_(may-sep)



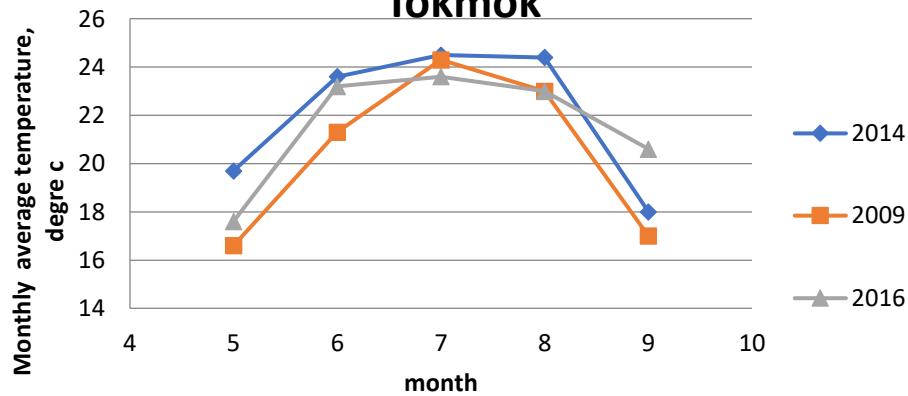
### Tokmok\_(may-sep)



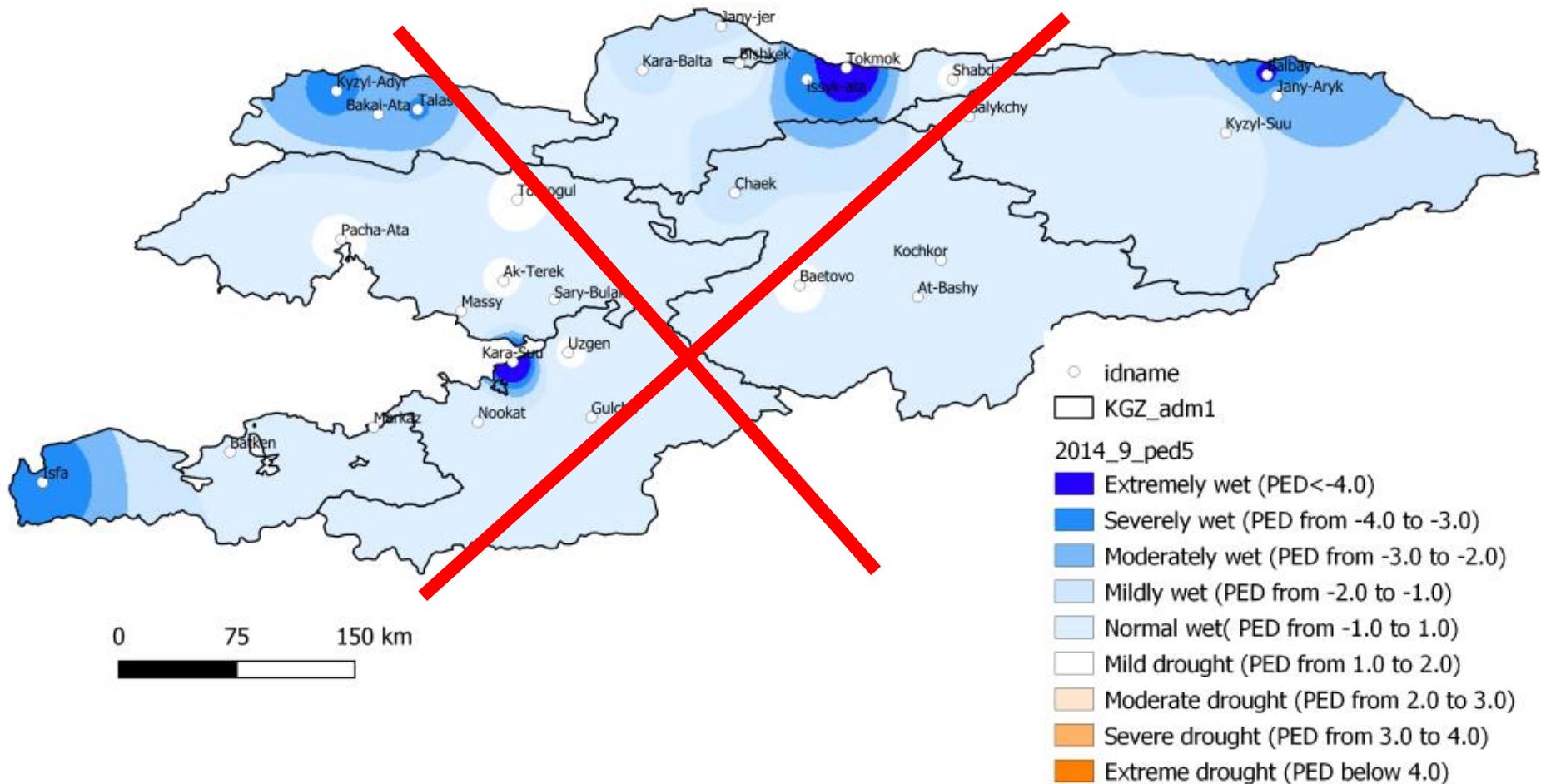
### At-Bashy



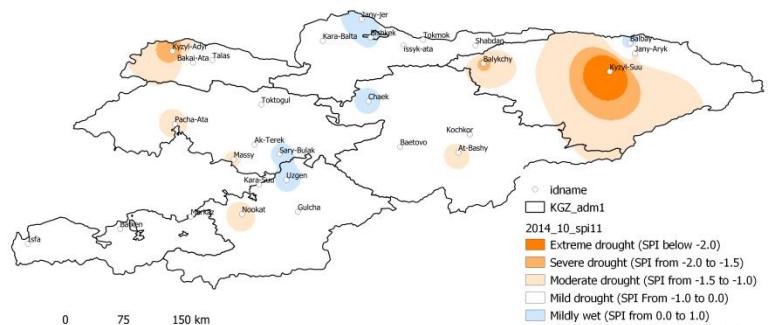
### Tokmok



## PED5

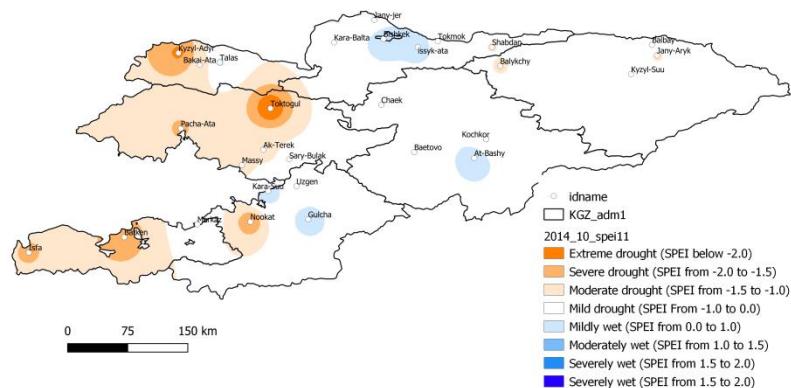
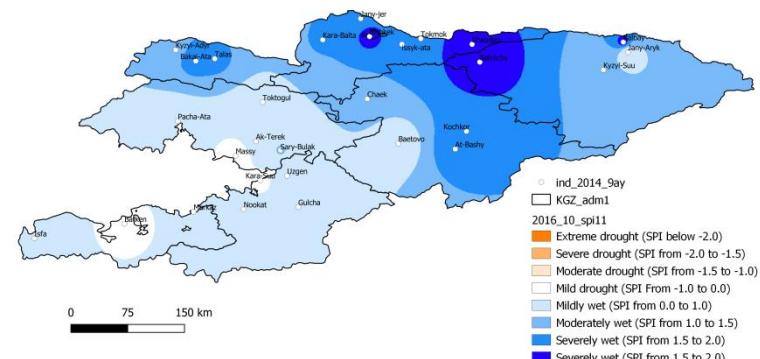


win(2013 dec-2014 oct)

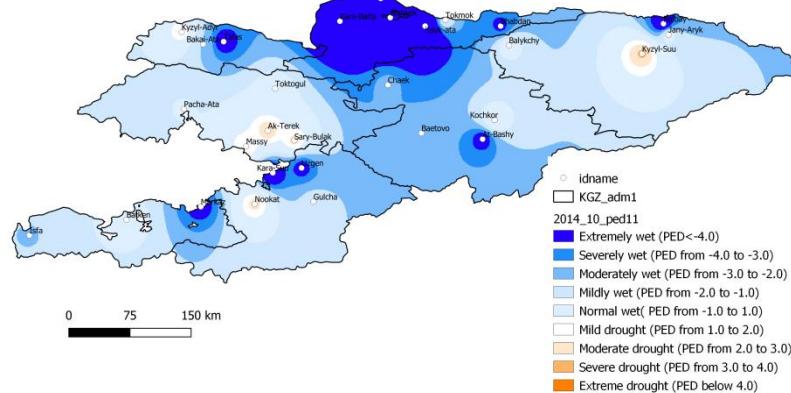
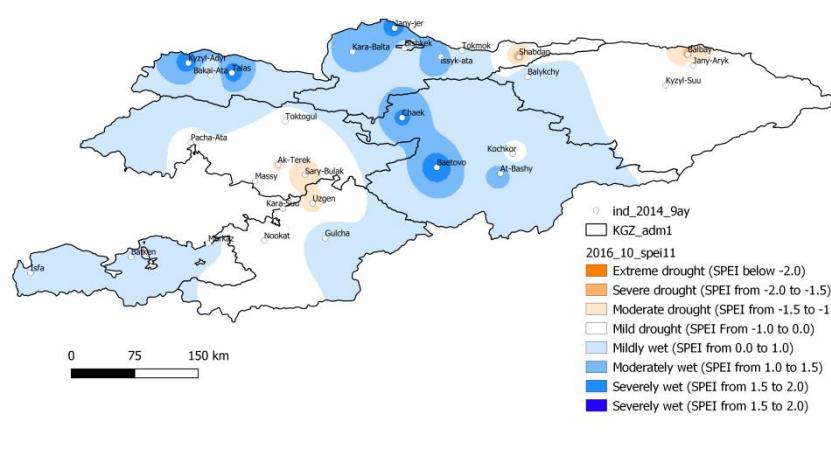


spi11

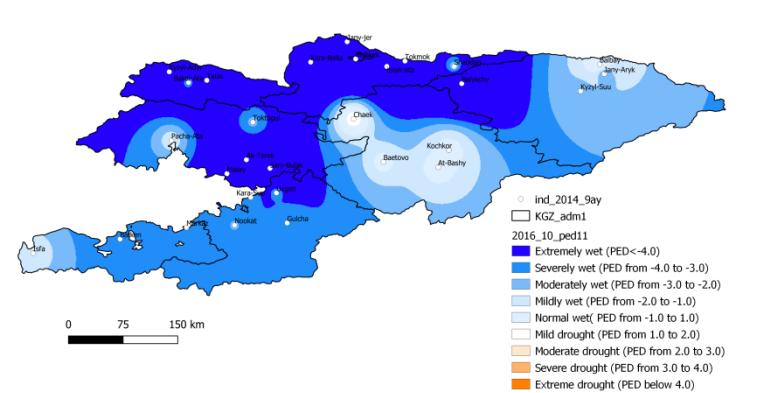
win(2015 dec-2016 oct)



spei11



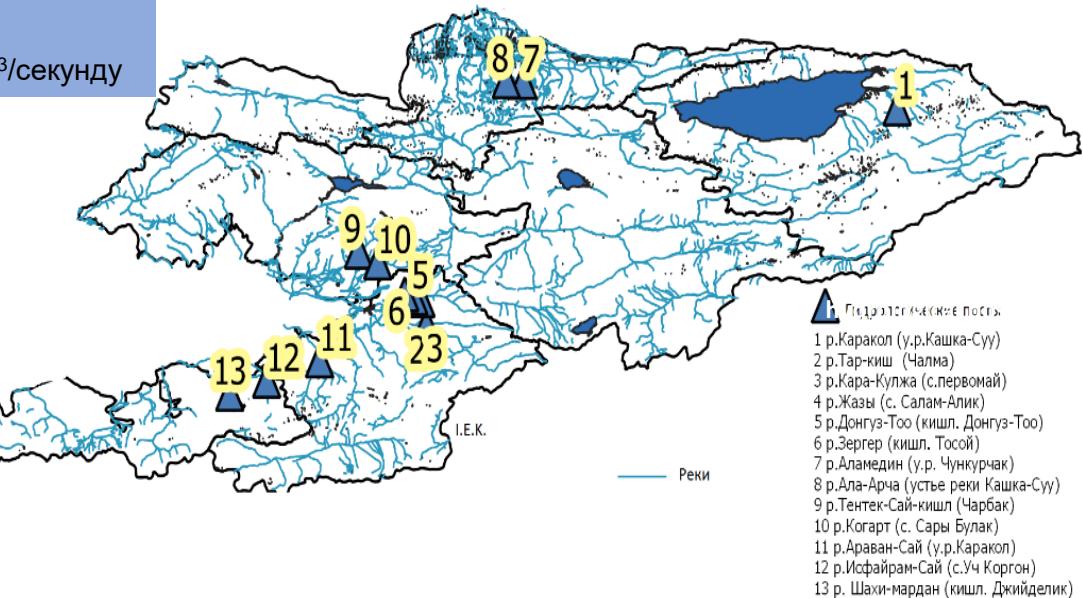
PED11



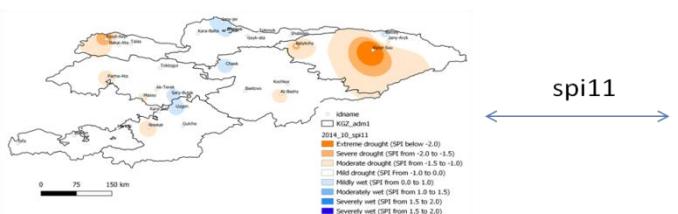
# Average value of water discharge in rivers of Kyrgyzstan in m<sup>3</sup>/second

Среднее значение расходов воды в реках Кыргызстана в м<sup>3</sup>/секунду

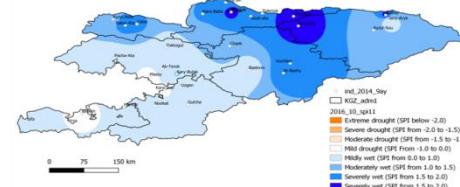
Название реки (гидрологические посты)	2013 Decembe r-2014 October	2015 Decembe r-2016 October
1 р.Каракол (у.р.Кашка-Сүү)	3,75	7,46
2 р.Тар-киш (Чалма)	42,51	56,85
3 р.Кара-Кулжа (с.Первомай)	18,95	29,85
4 р.Жазы (с. Салам-Алик)	12,97	17,39
5 р.Донгуз-Тоо (кишл. Донгуз-Тоо)	3,30	3,30
6 р.Зергер (кишл.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



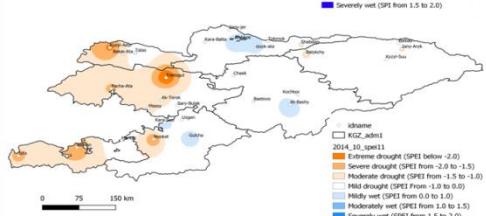
win(2013 dec-2014 oct)



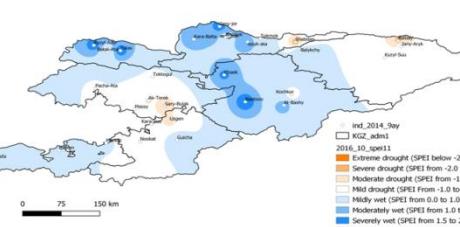
win(2015 dec-2016 oct)



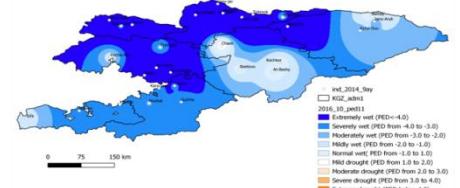
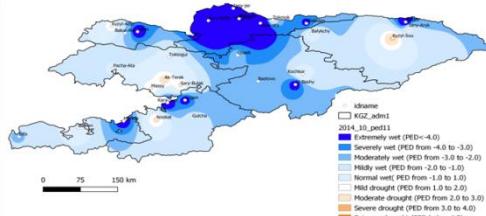
spi11



spei11



PED11







# Correlation between yield productivity(Ton/ha) and Met\_ Indices

All correlation coefficients are significant, tested by t-test with 5% significant level

Index	Crop type												
	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

Index	Crop type												
	Grains	Wheat	Barley	Corn	Rice	Cotton	Tobacco	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Melons	Fruits and berries	Grapes
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					

Index	Crop type												
	Grains	Wheat	Barley	Corn	Rice	Sugar-beet	Tobacco	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Melons	Fruits and berries	Grapes
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

Index	Crop type												
	Grains	Wheat	Barley	Corn	Rice	Cotton	Tobacco	Vegetable oils	Potatoes	Vegetables	Melons	Fruits and berries	Grapes
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					

# Correlation between yield productivity(Ton/ha) and REMsen\_ Indices

All correlation coefficients are significant, tested by t-test with 5% significant level

		Batken Oblast												
		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
	nddi	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
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
	nddi	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
	nddi	-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
	nddi	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
	nddi	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

		Batken Oblast													
		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	
	nddi	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	
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	
	nddi	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	
	nddi	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	-0,1	-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	
	nddi	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	

## Correlation between soil moisture and Remsen\_ Indices

All correlation coefficients are significant, tested by t-test with 5% significant level

### Mountain stations

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

### Valley stations

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

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

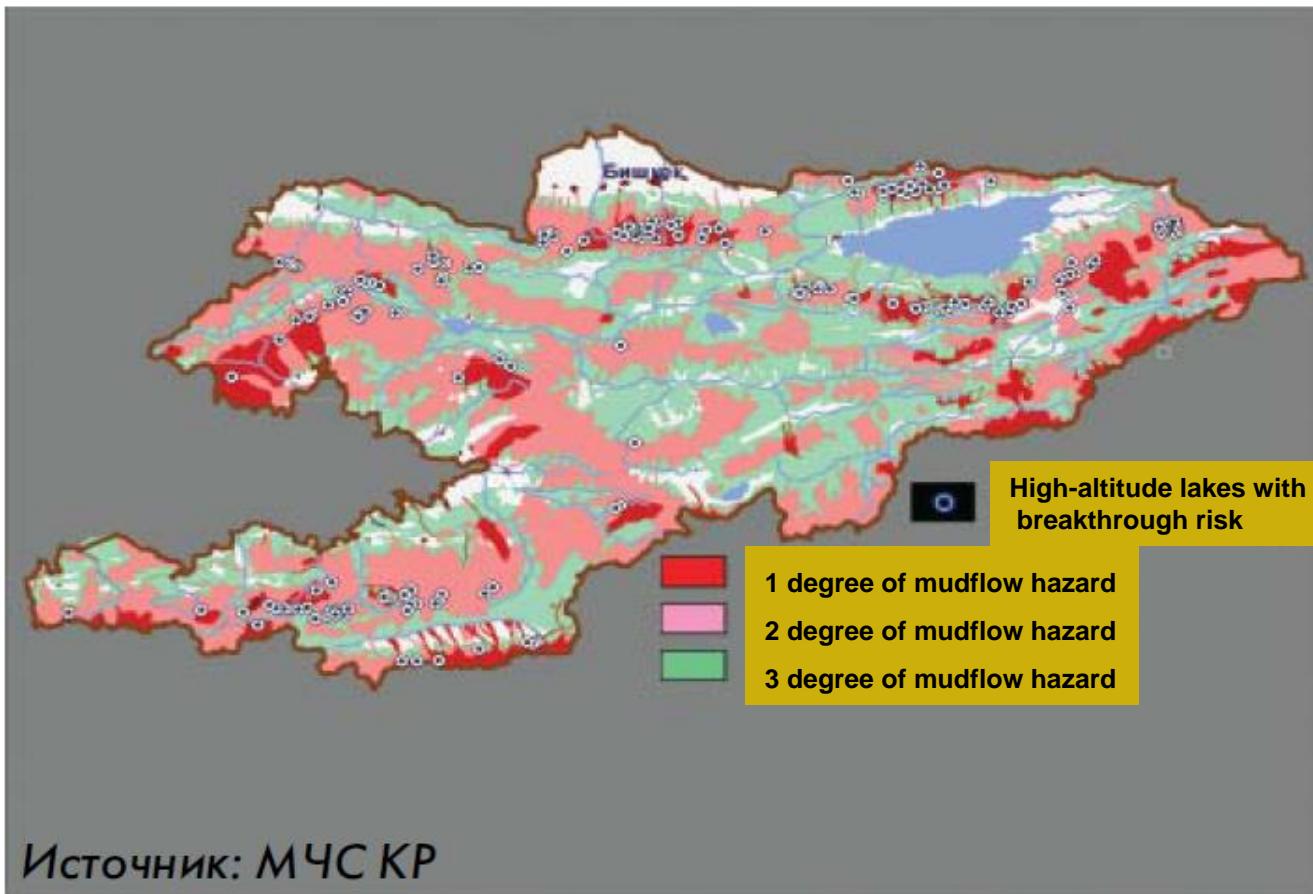
Talas	index					
Soil_D	NDDI	VSWI	NDWI	vhi	tci	vci
10cm	-0,43	-0,43	0,45	0,41	0,42	0,31
20cm	-0,43	-0,43	0,45	0,41	0,42	0,31
50cm	-0,39	-0,39	0,40	0,39	0,39	0,26
100cm	0,01	-0,02	0,06	0,09	0,09	-0,21

## CONCLUSION AND PROSPECT

- Meteorological indexes for drought estimation (SPEI, SPI, PED) were estimated, spatial consistence in meteorological indexes, SPI is better than others for Kyrgyzstan. Subsequently, more meteorological indices should be involved for analysis (such as scPDSI, KBDI, etc.).
- By draw out for meteorological indices map was made by interpretation of IDW method, and which method is best for Kyrgyzstan meteorological spatial characteristics should be investigated in the future.
- Remote indexes for drought estimation (VHI, VCI, TCI, NDDI, NDWI, VSWI) were estimated, and obtained that for all regions VHI, VCI and TCI shows the best result. But there are still many other drought indices; the discussion noted the need to conduct validation work and to evaluate these indices for the territory of Kyrgyzstan.
- Correlation between soil moisture and satellite-based drought indices (1KM) differed in mountain and valley regions. Better results can be found in valley areas. And scale issue, how many percentages of mountain and plat area. We need use high-resolution data for validation further (Sentinel data).
- After discussion with colleagues, RADI and Kyrgyzstan came to the same opinion that Kyrgyzstan need field campaign (collect data) to improve and calibrate drought monitoring system.
- From a team from Kyrgyzstan was proposed–adding into Droughtwatch
- tools to calculate (met indices-data from meteorological stations)
- Forecast tools to predict drought in different period (met indices-data from models, format: NETCDF, GRIB2).

# Forecast

- The forecast of fields of meteorological values in the mountainous terrain is an extremely difficult task;
- Very limited amount of data from mountain meteorological stations;
- Mesoscale features of the relief.



**The purpose** is to create a system of hydrodynamic modeling of atmospheric processes on the area with complex relief to improve the forecast of natural disasters over territory Kyrgyzstan.

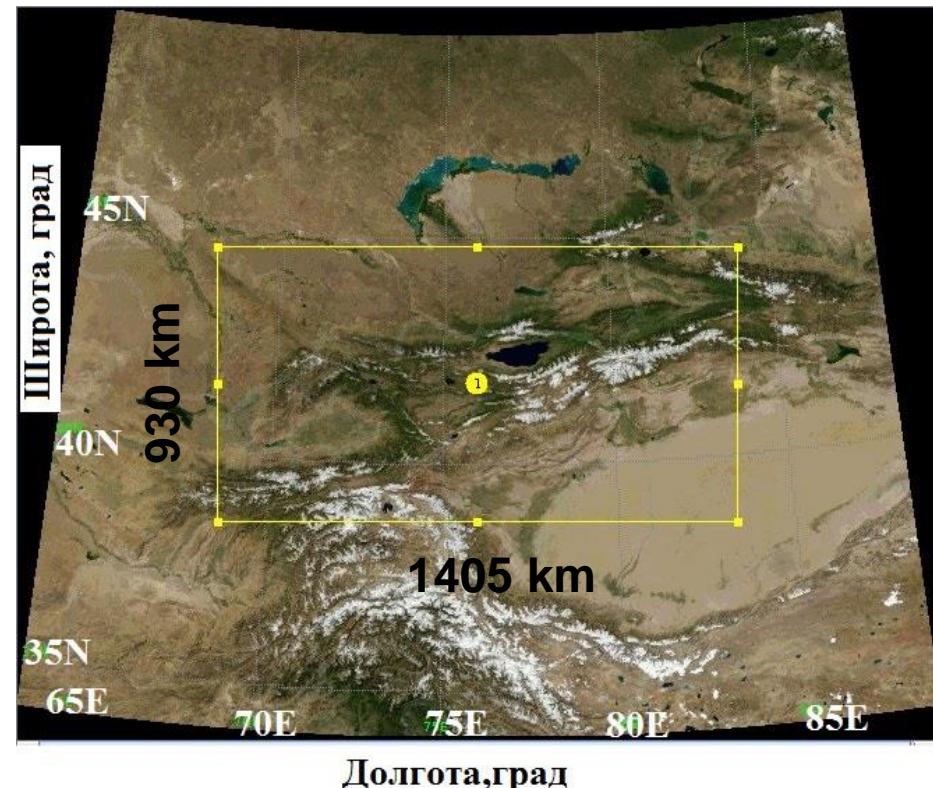
### **Problems solved to achieve the goal:**

- Adaptation and optimization of the atmospheric hydrodynamic model Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) on the area with complex relief and testing for Kyrgyzstan;
- Adaptation and optimization of the methods for verification of the hydrodynamic forecast of meteorological variables in the case of modeling in a territory with complex orography;
- Assessment of sensitivity of the hydrodynamic modeling of atmospheric processes on the area with complex orography to parametrization of physical processes;
- Modification of the boundary layer parametrization scheme for use in a complex orography area;
- Development of a complex to assimilation of observational data from ground-based meteorological stations into a hydrodynamic model for the territory of Kyrgyzstan and an assessment of its effect;
- Verification of the created system of hydrodynamic modeling of atmospheric processes on the territory of Kyrgyzstan.

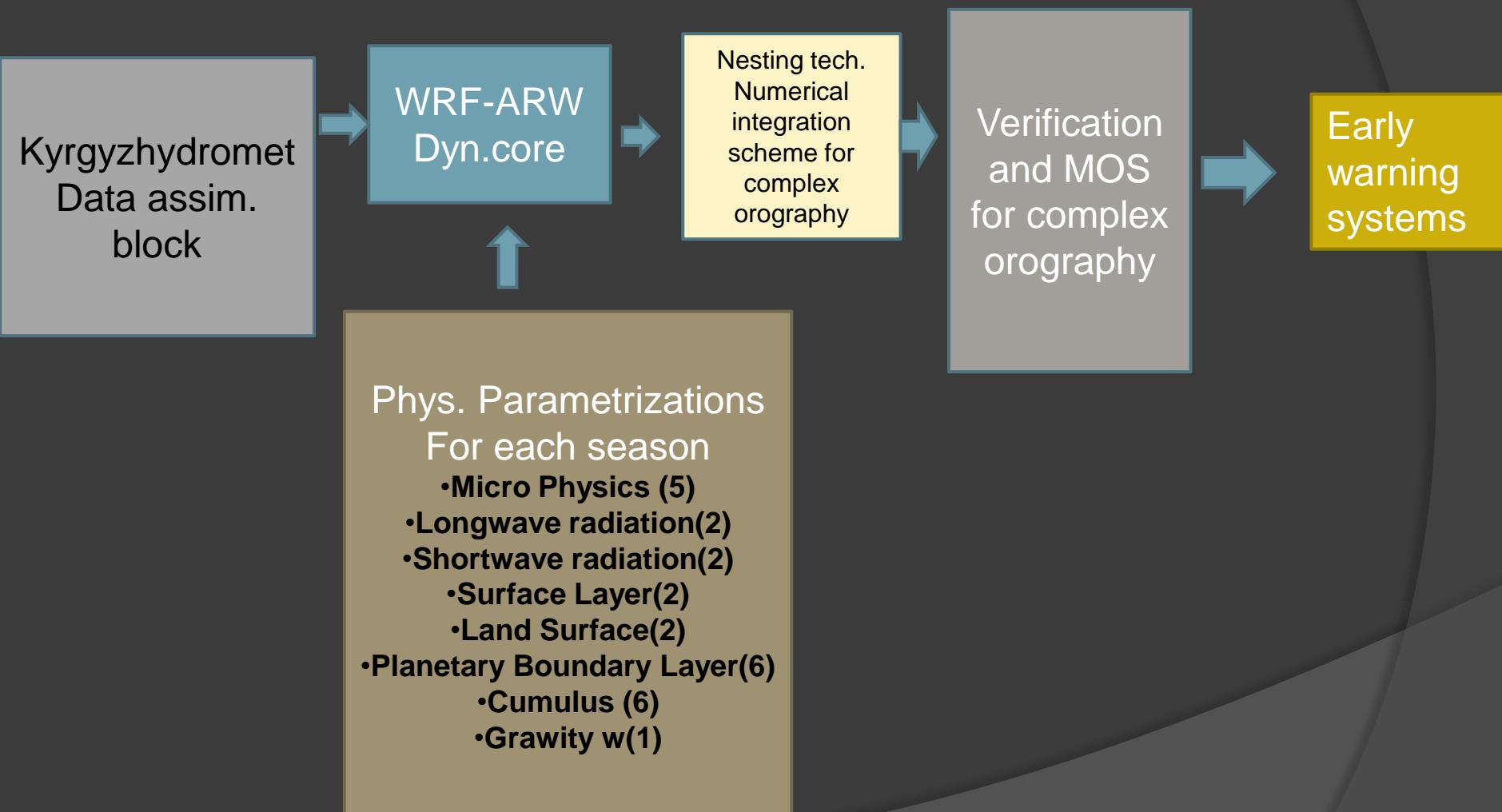
# Area and conditions of modeling

- Forecast lead time: 24 hours, 48 hours, 102 hours
- Spatial resolution: 10 км ,5 км, 2.5 км, 1.25 км
- Time steps: (60,30 ,15)сек
- Vertical levels: 40
- Projection: Lambert
- initial and boundary conditions:  
observation data from KyrgyzHydroMet and  
The Global Forecast Model (GFS)

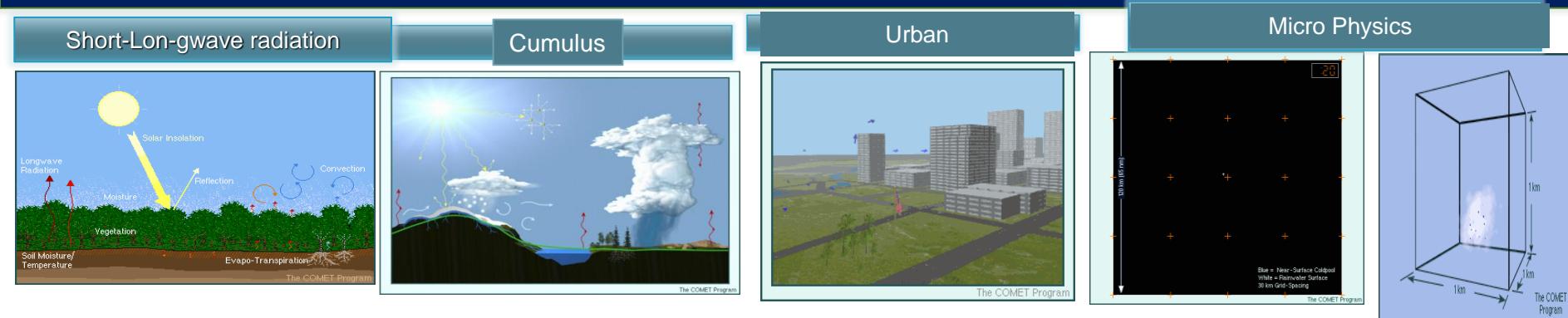
More than 4000 numerical exp.



# What needs to be done to improve the forecast of natural disasters:



# Evaluation of the effects of combinations of parameterizations of physical processes to the forecast of meteorological variables



To verify the forecasts, we used the results of observations at 31 stations in Kyrgyzstan.  
Number of numerical experiments: 2000.

№ combinations	Parametrization schemes						
	Micro Physics	Longwave radiation	Shortwave radiation	Surface Layer	Land Surface	Planetary Boundary Layer	Cumulus
1	WSM6	RRTM	Dudhia	MM5	Noah	YSU	Het
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

# Verification package

Mean absolute error

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

Mean systematic error

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

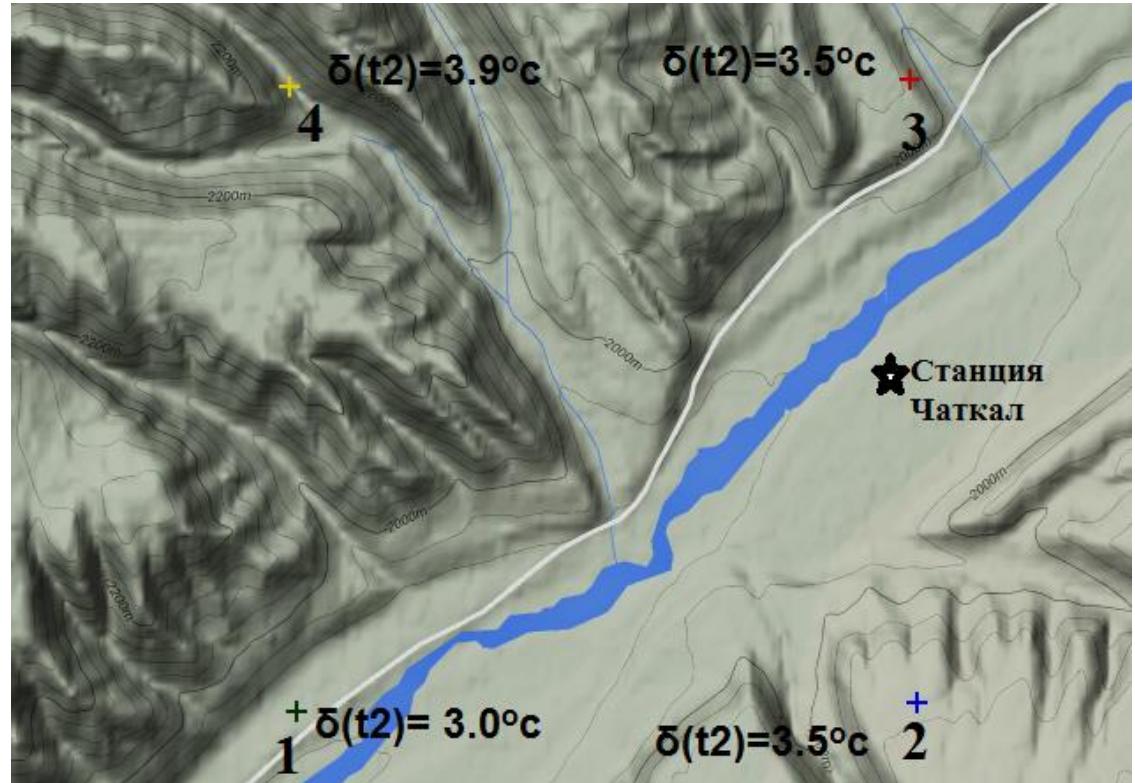
RMSE

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

correlation coefficient

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

$X_n$  - forecast;  
 $X_\phi$  - observation



# Forecast verification

## Evaluation with the best combination of parametrization schemes

№ stations	Estimation variable											
	Wind speed $u$ , M/s				Wind speed $v$ , M/s				Temperature $t$ , °C			
	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$	$r$	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$	$r$	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$	$r$
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

## Evaluation with the worst combination of parametrization schemes

№ стан- ции	Estimation variable											
	Wind speed $u$ , M/s				Wind speed $v$ , M/s				Temperature $t$ , °C			
	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$	$r$	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$	$r$	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$	$r$
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	1,4	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

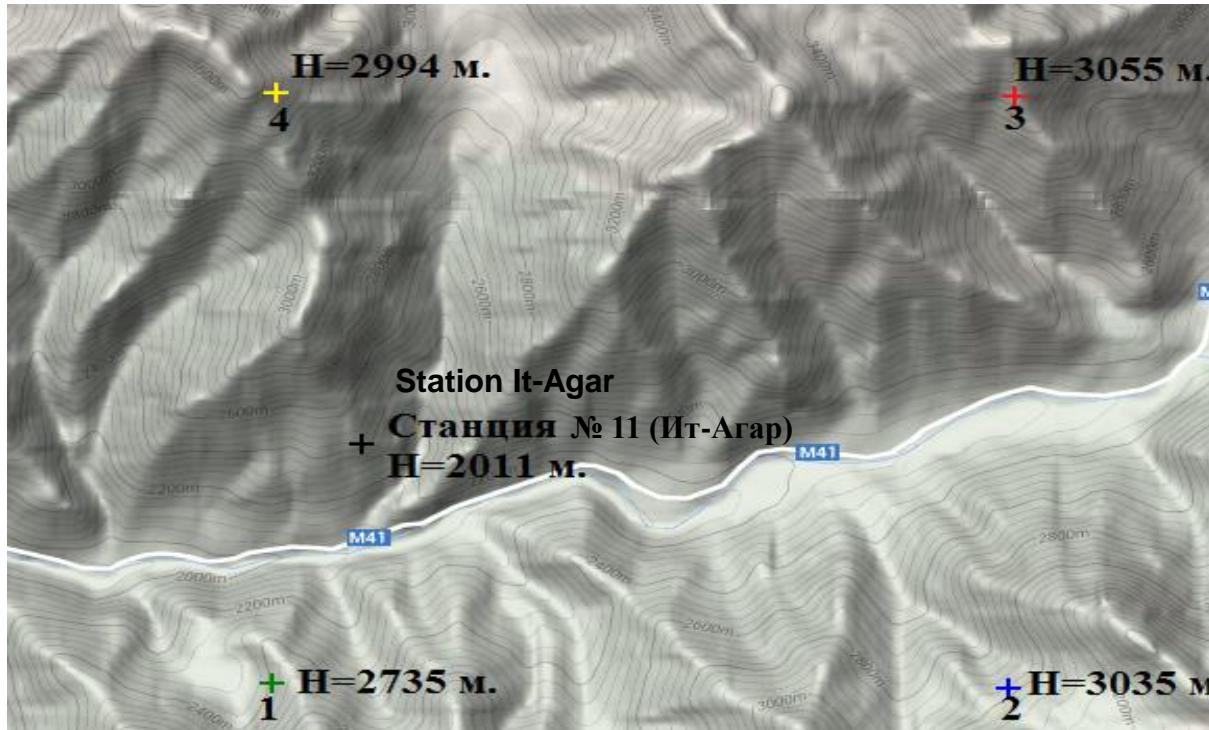
# Height correction in verification package

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

where

$\Delta H$  – height difference;

$\Delta \gamma$  – temperature lapse rate.



Estimates of the quality of temperature modeling taking into account the correction for altitude difference ( $\Delta Th$ ) of the model grid and the meteorological station

Station №	T+ $\Delta Th$ , °C			T, °C			Model height, m	Station height, m	$\Delta H$ , m
	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$	$\delta$	$\sigma$	$\varepsilon$			
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

# Forecast verification

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\\_categ\\_forec/uos3\\_uos3\\_ko1.htm](http://www.eumetrain.org/data/4/451/english/msg/ver_categ_forec/uos3_uos3_ko1.htm)

# Parametrization of the planetary boundary layer

Scheme Bougeault-Lacarrere

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{\rho w' e'}}{\partial z} - \overline{u' w'} \frac{\partial U}{\partial z} - \overline{v' w'} \frac{\partial V}{\partial z} + \beta \overline{w' \theta'} - \varepsilon, \quad (3)$$

Second order moments:

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

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

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

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

Vertical diffusion coefficients:

$$K_m = C_k \ell e^{\frac{1}{2}}, \quad K_h = \frac{1}{3} \alpha_T K_m, \quad K_e = \alpha_e K_m, \quad (8)$$

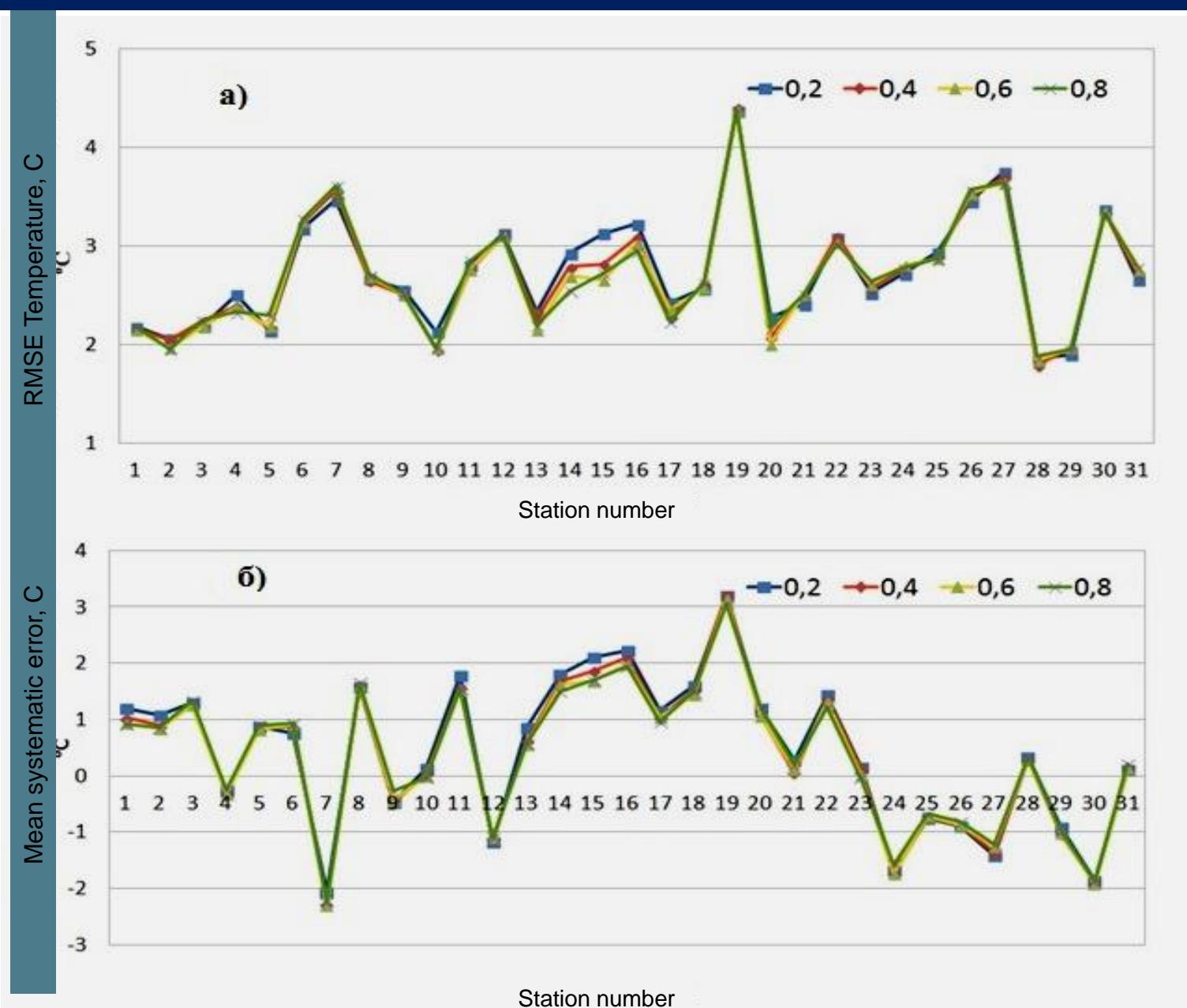
$$\varepsilon = C_\varepsilon e^{\frac{1}{2}} / \ell, \quad (9)$$

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

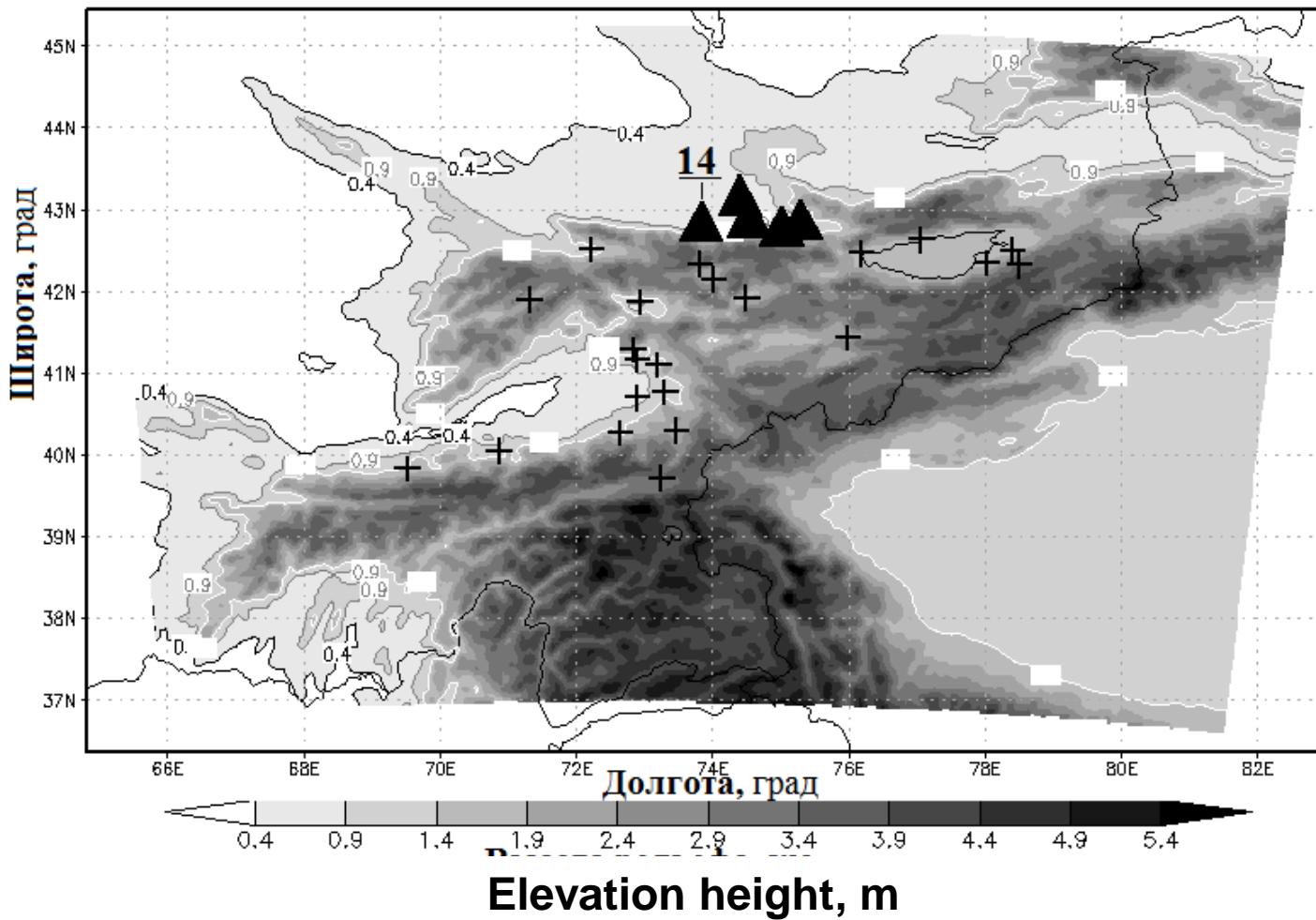
$$\int_{z-l_{down}}^z \beta(\theta(z') - \theta(z)) dz' = e(z) \quad (10b)$$

z - l\_{down} \geq 0

Mean values of a) quadratic, b) systematic errors in temperature modeling at stations, depending on the mixing path with different empirical coefficients  $C_k = (0.2; 0.4; 0.6; 0.8)$  at  $C_\epsilon = 0.7$



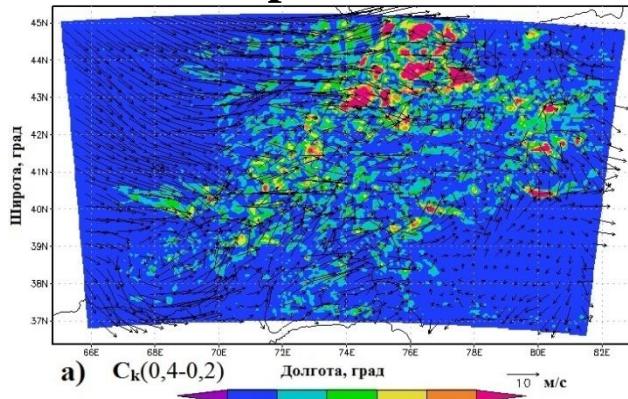
# Location of meteorological stations



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

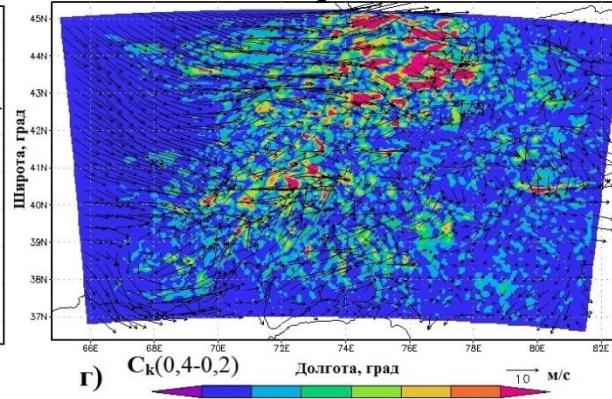
The sensitivity, depending on the path of mixing with the empirical coefficients  $C_k$

### Temperature

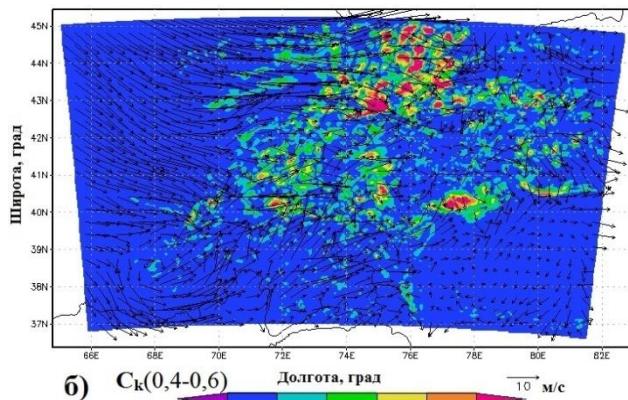


а)  $C_k(0,4-0,2)$  Долгота, град

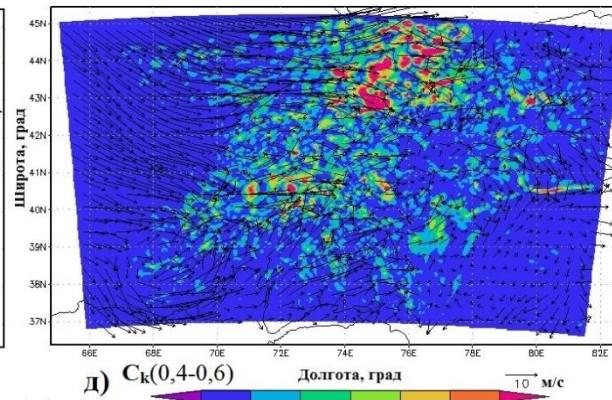
### Wind speed



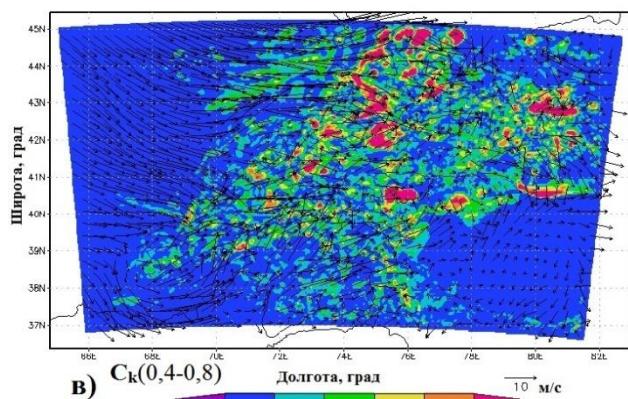
г)  $C_k(0,4-0,2)$  Долгота, град



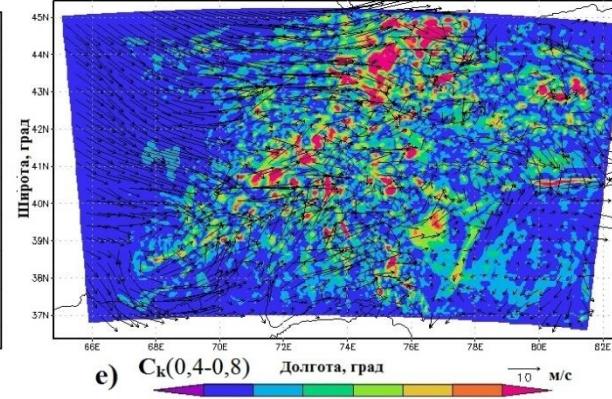
б)  $C_k(0,4-0,6)$  Долгота, град



д)  $C_k(0,4-0,6)$  Долгота, град



в)  $C_k(0,4-0,8)$  Долгота, град



е)  $C_k(0,4-0,8)$  Долгота, град

# The daily course of the average relative error of the temperature forecast for $C_k = (0.2, 0.4, 0.6, 0.8)$ with $C_\varepsilon = 0.7$

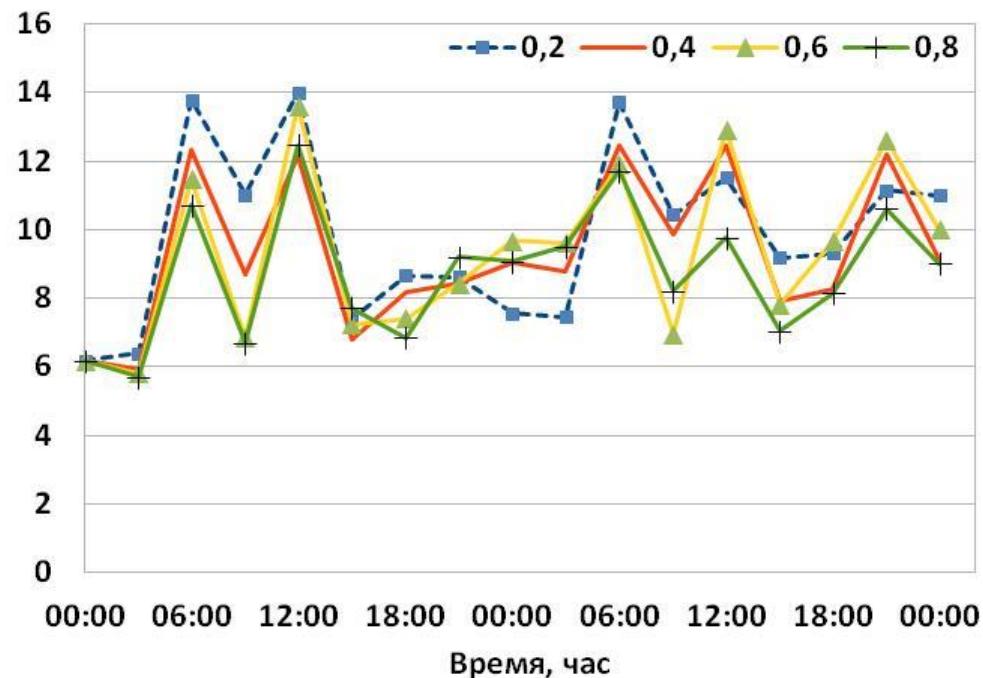
$$OTH = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \frac{|X_{\Pi} - X_{\Phi}|}{X_{\Phi}} \right) \times 100\%,$$

$X_{\Pi}$  - forecast;  
 $X_{\Phi}$  – observation  
OTH - relative forecast error

re, %

Относительная ошибка температуры, %

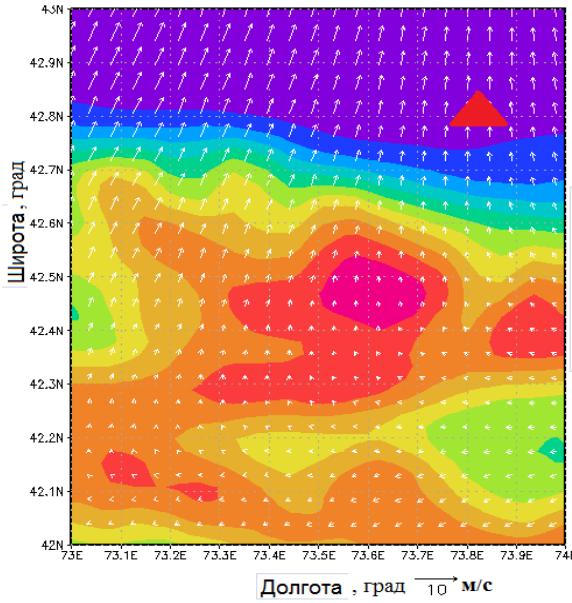
- The daily course of the relative error of temperature, averaged over 30 simulations. The analysis of the daily course of the error shows that during the period from 06:00 to 12:00 UTC the greatest error is observed, which corresponds to the maximum development of mountain-valley circulation.



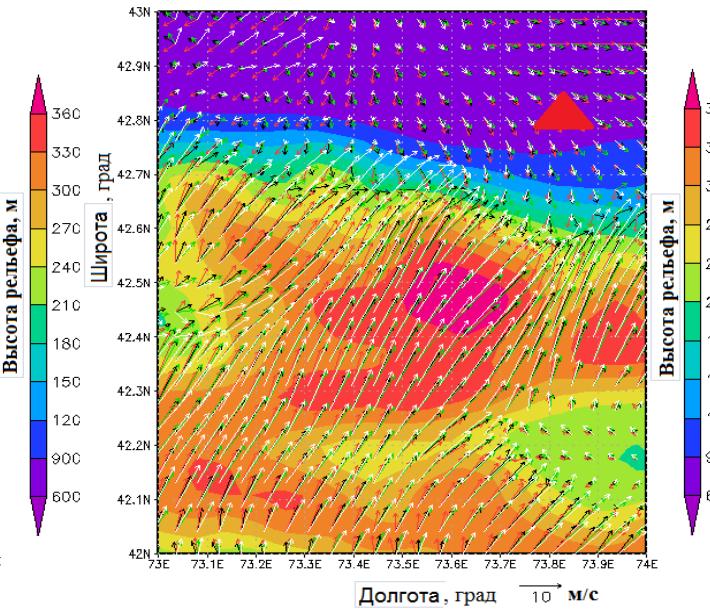
Time, hours

Time, hours

# The sensitivity, depending on the path of mixing with the empirical coefficients $C_k$



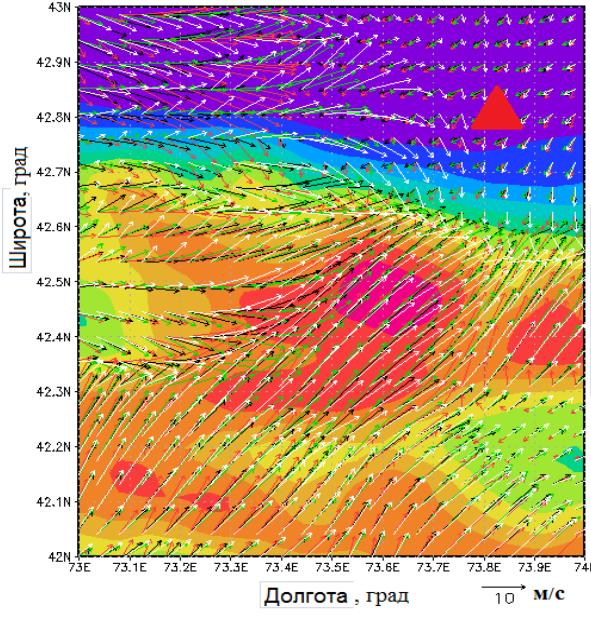
а) 20150515 00:00 UTC



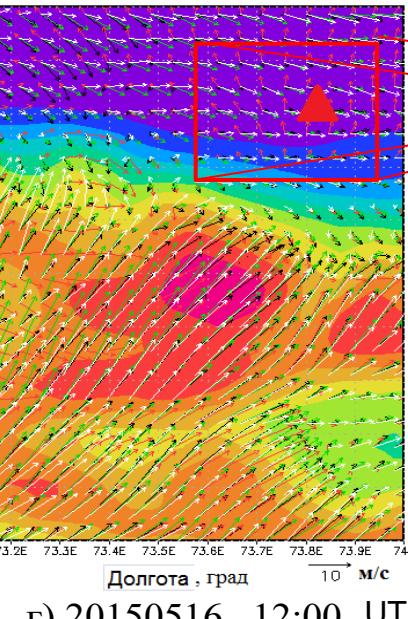
б) 20150516 06:00 UTC

Vectors of speed wind :

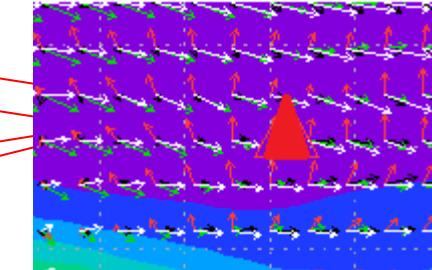
- Black ( $C_k = 0,4$ );
- Red ( $C_k = 0,2$ );
- Green ( $C_k = 0,6$ );
- White ( $C_k = 0,8$ ).



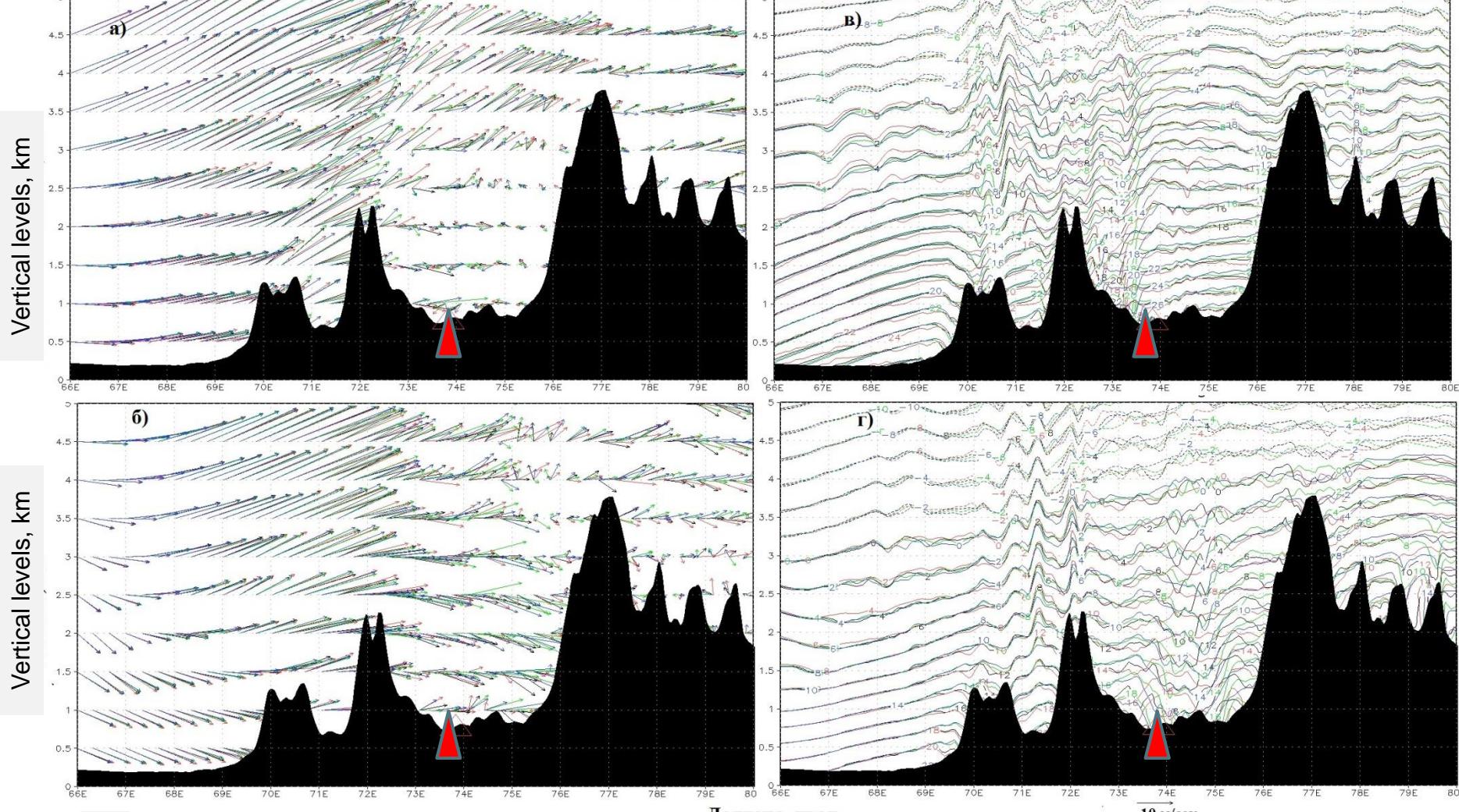
в) 20150516 09:00 UTC



г) 20150516 12:00 UTC



# Vertical cross-section



a) wind speed over time

20150516 09:00.

temperature over time

20150516 09:00.

color depending on the empirical coefficient: black  
( $C_k = 0,8$ )

б) wind speed over time

20150516 015:00, в)

temperature over time

20150516 15:00;

( $C_k = 0,2$ ),

red

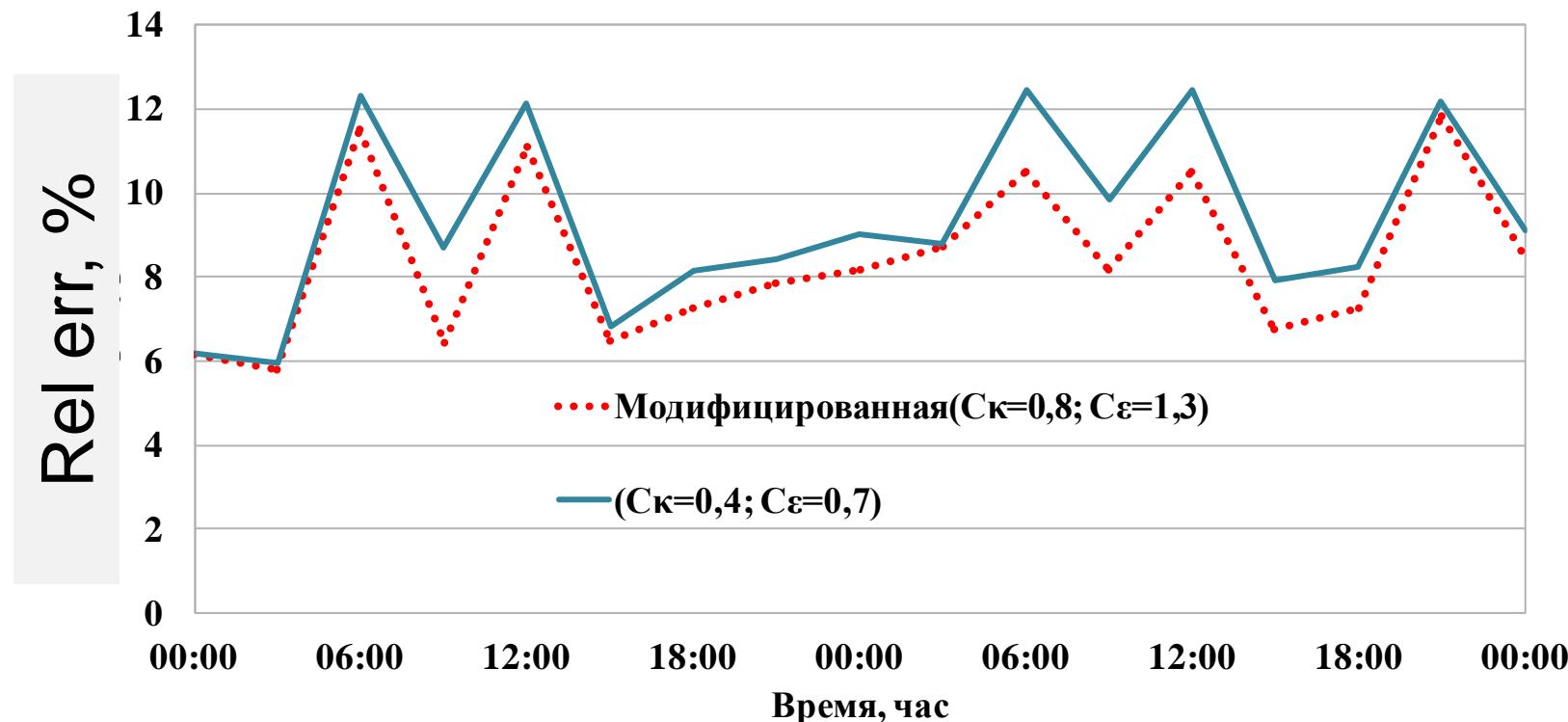
( $C_k = 0,6$ ), green

blue

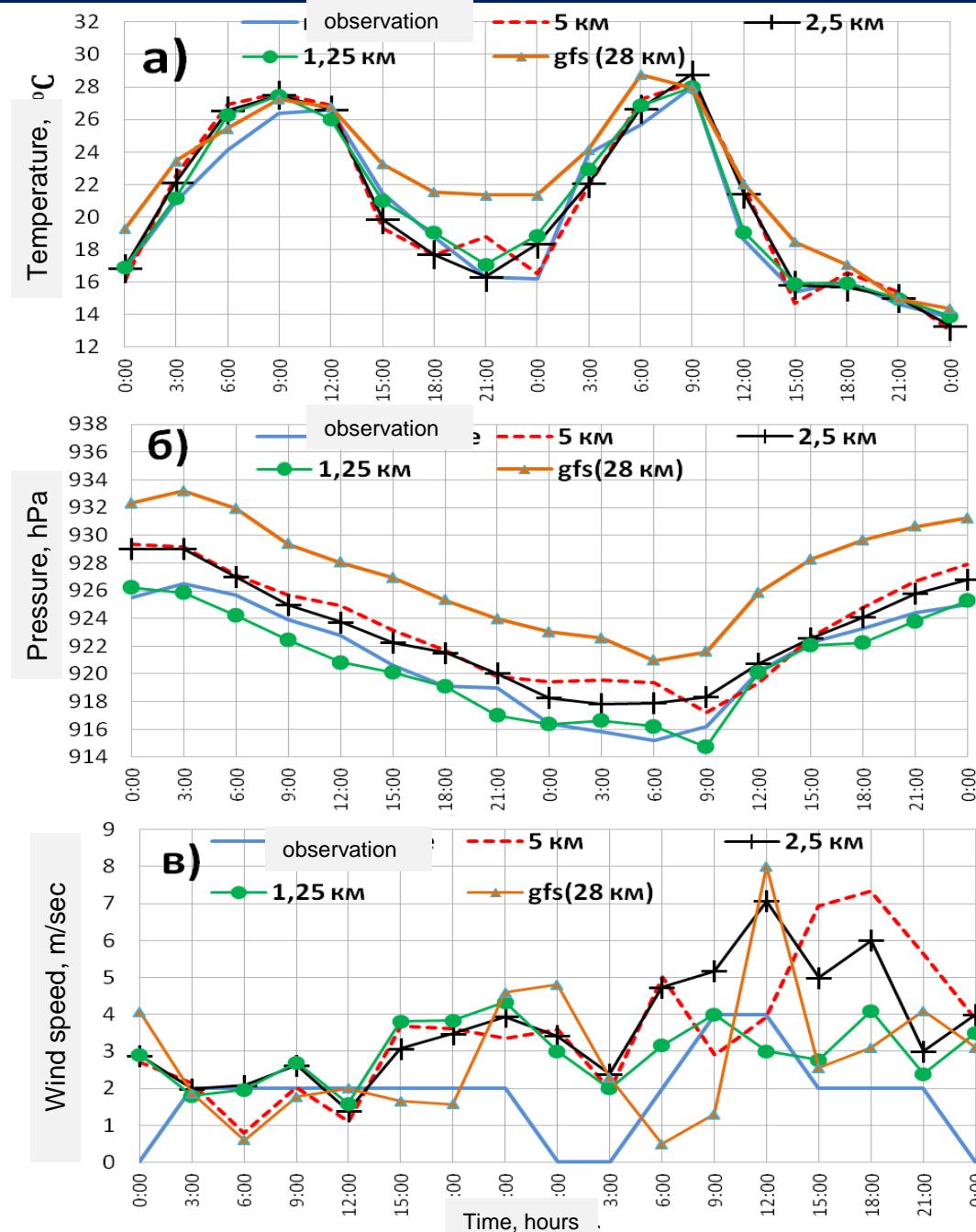
$$H = U/N$$

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

- ✓ 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 Кайна-Фритша (Kain, 2004).



# Adaptation and optimization of the atmospheric hydrodynamic model



# Estimation of the effect of assimilation of standard measurements on the hydrodynamic weather forecast in a region with complex terrain

## 3D-Var

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

Where  $X$  - is the vector of atmospheric state,  $X_B$  - is the background state,  $Y$  - is the observation,  $H$  - is the observation operator,  $B$  - is the covariations matrix of model error,  $P$  - is the observation error matrix

Assimilated:

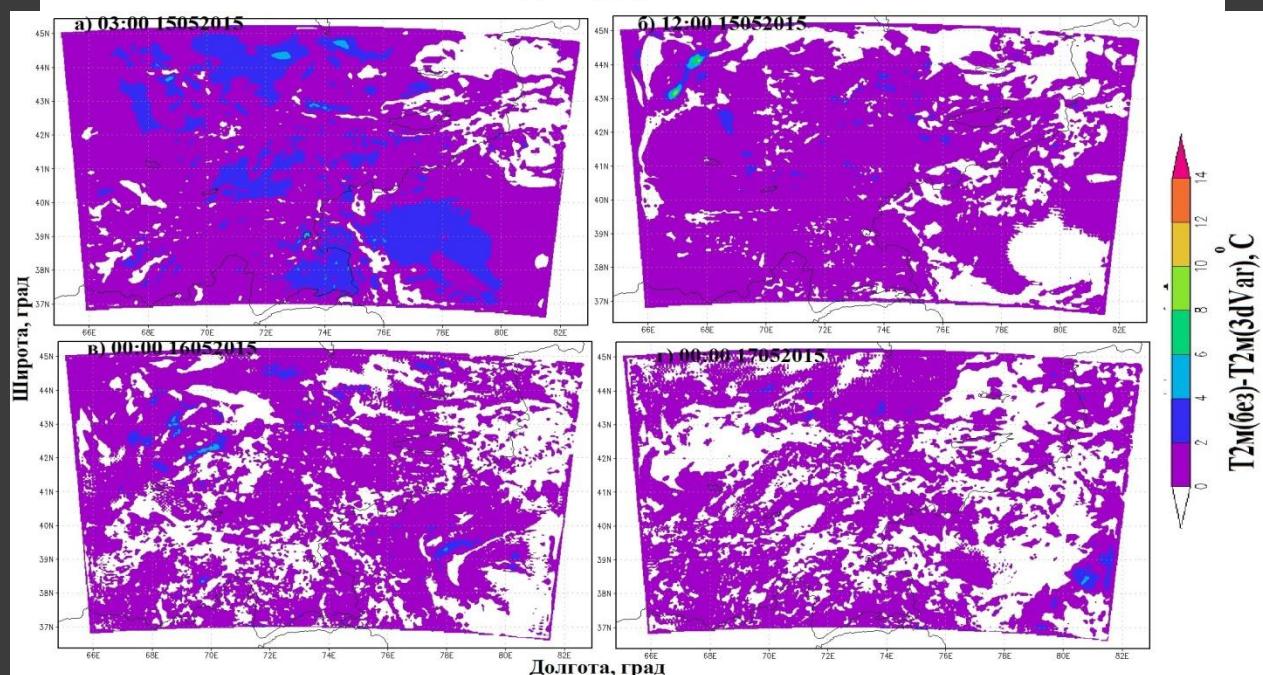
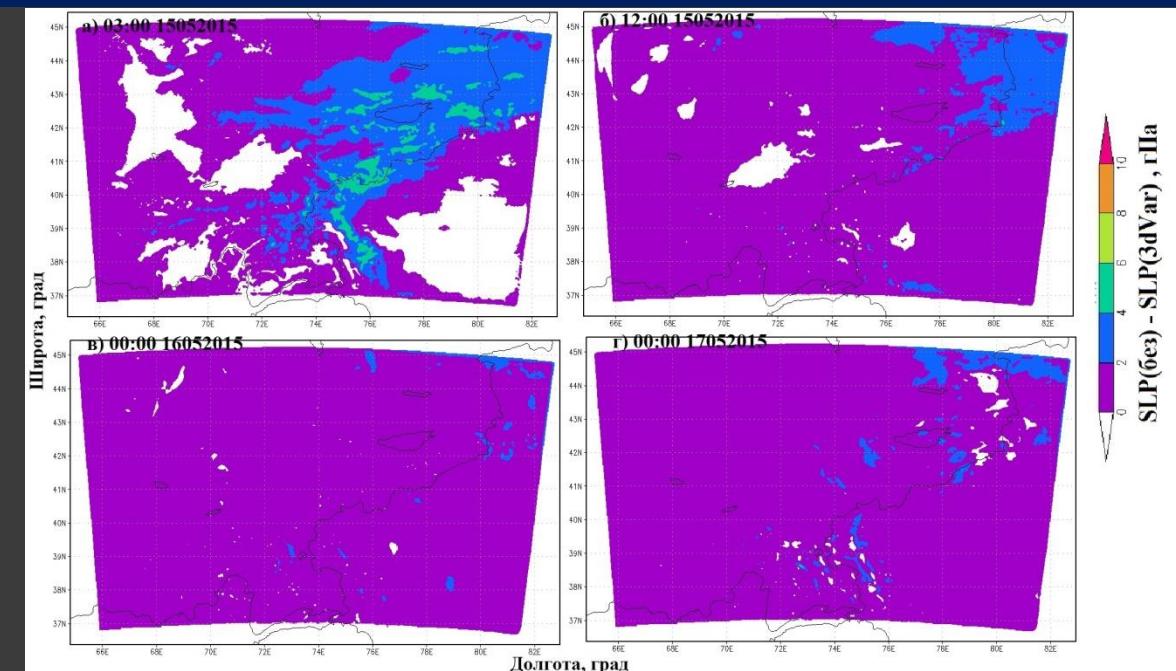
- surface atmospheric pressure;
- air temperature at a height of 2 m;
- zonal and meridional components of wind speed at a height of 10 m;
- dew point temperature;

obtained from observations at 31 meteorological stations that are not part of international exchange. While only 7 meteorological stations in the region are participating in international exchanges;

The results of comparison of modeling with assimilation and without assimilation separately for stations located in valleys (No. 13, 14) and in mountains (No. 22, 30)

Estimated variables	№ stations	Average value	Mean absolute error ( $\delta$ )		RMSE ( $\sigma$ )		Mean systematic error ( $\varepsilon$ )	
			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 ассилияции данных в зависимости от заблаговременности



## Conclusions and recommendations

1. A methodology for weather forecasting over a territory with complex orography was developed. The special importance of parametrization of convection, microphysics of clouds, and PBL is shown. The developed system of hydrodynamic modeling, implemented in the operational work of the Kyrgyzhydromet, allowed to increase the quality of forecasts, which improved the forecast of natural disasters.
2. A modified PBL parameterization scheme was proposed, implemented and tested. An improvement in the quality of the forecast of meteorological values is shown when using a modified parameterization scheme for PBL, especially in an area where the relief is exposed to the influence of large-scale flows.
3. A package was developed and implemented in the form of a software module for the verification and assimilation of the hydrodynamic forecast of meteorological variables over area with complex orography.
4. Implemented system of hydrodynamic modeling of atmospheric processes in the Kyrgyzhydromet increased the accuracy of weather forecasts from 89% to 94% for 1 days, from 87% to 92% for 3 days. And it also made possible to give more accurate forecasts in difficult mountainous regions.
5. In the future Kyrgyzhydromet planning to add COSMO(new ICON-meso(sless)), WRF-hydro and WRF-Climate models in to the created system to improve the forecast of natural disasters and to better planning adaptation activities (climate change adaptation activities).
6. Do verification works to obtain accuracy of seasonal and sub-seasonal forecast of Chines model and doing physical downscaling with Chines model

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