

**СОСТАВЛЕНИЕ СЕЗОННЫХ ПРОГНОЗОВ  
В ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ  
им. А.И. ВОЕЙКОВА, РОССИЯ**

Авторы: В.М.Мирвис, В.П.Мелешко,  
Т.Ю.Львова, В.А.Матюгин

**NEASOF-5, 29 октября 2013  
Москва**

## Статистические (физико-, синоптико-):

аналогия, регрессионные связи между физическими факторами, пространственно-временные связи (дальние связи, цикличность)

### **недостатки:**

не в состоянии учесть огромное число действующих факторов в условиях ограниченной выборки и все зависимости оказываются неустойчивыми, непригодны для нестационарных условий меняющегося климата

## Гидродинамические

физически полные модели атмосферы и океана, ансамблевые прогнозы

### **недостатки:**

содержат ошибки (учитывают не все факторы, имеют ограниченное разрешение, схемы параметризации несовершенны)

## Гидродинамико-статистические

используют ансамбль гидродинамических прогнозов различных моделей и статистические методы калибровки и оптимизации

# Составные части технологии прогноза

**1. Подготовка исходной информации** (начальные атмосфер. поля - ОА ГМЦ РФ, начальная аномалия температуры поверхности океана – анализ NESDIS); начальная аномалия концентрации морского льда с релаксацией к климату.

**2. Формирование ансамблей начальных состояний**

(выращивание возмущений, лаговый сдвиг);

**3. Интегрирование модели (T63L25, T42L14) на период прогноза** (месяц, сезон: 3-4 мес. и т.д.);

**4. Блок подготовки окончательного прогноза (Postprocessing)**

а) осреднение по периодам прогноза,

б) коррекция систематических ошибок, регионализация (**downscaling**)  
калибровка прогностического вероятностного распределения

в) графическое представление результатов прогноза (карты, графики, таблицы)

**Анализ многолетних серий исторических прогнозов для оценки систематических ошибок (учет дрейфа модельного климата)**

**5. Проверка (оценивание) прогнозов**

(эталонные данные, эталонный климат)

# Что прогнозируется?

Величины, аномалии и вероятности градаций (<N, N, >N)

## Территория:

N – 500 Глобальные и региональные поля по сетке 2.5\*2.5°  
T – 850  
SLP  
T2m Сеть 70 станций Северо-Евразийского региона  
Prec

## Периоды:

1 неделя ( 2-8 сутки )  
2 “ ( 9-15 “ )  
3 “ ( 16-22 “ )  
“ ( 23-29 “ )  
Месяц 1 (2-31 сутки)  
Месяц 2 (16-45 сутки)

Календарный месяц

1, 2, 3, 4 месяца,  
сезон (1-3), сезон(2-4)

**ЕЖЕНЕДЕЛЬНО**

**ЕЖЕМЕСЯЧНО**

## Карта станций, для которых составляется прогноз по пунктам



# Факторы предсказуемости в долгосрочном метеорологическом прогнозе

Влияние начального состояния атмосферы в 1-й месяц

Сигнал аномалий подстилающей поверхности (Эль-Ниньо и др.), проявляющийся на фоне синоптической изменчивости

Устойчивые режимы и низкочастотные колебательные системы циркуляции атмосферы (MJO, NAO, ...)

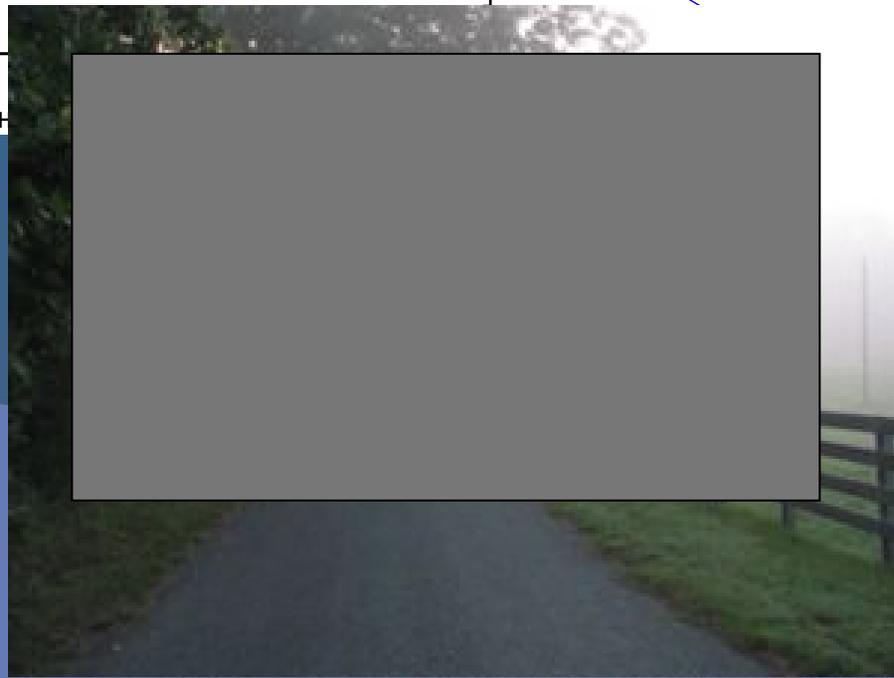
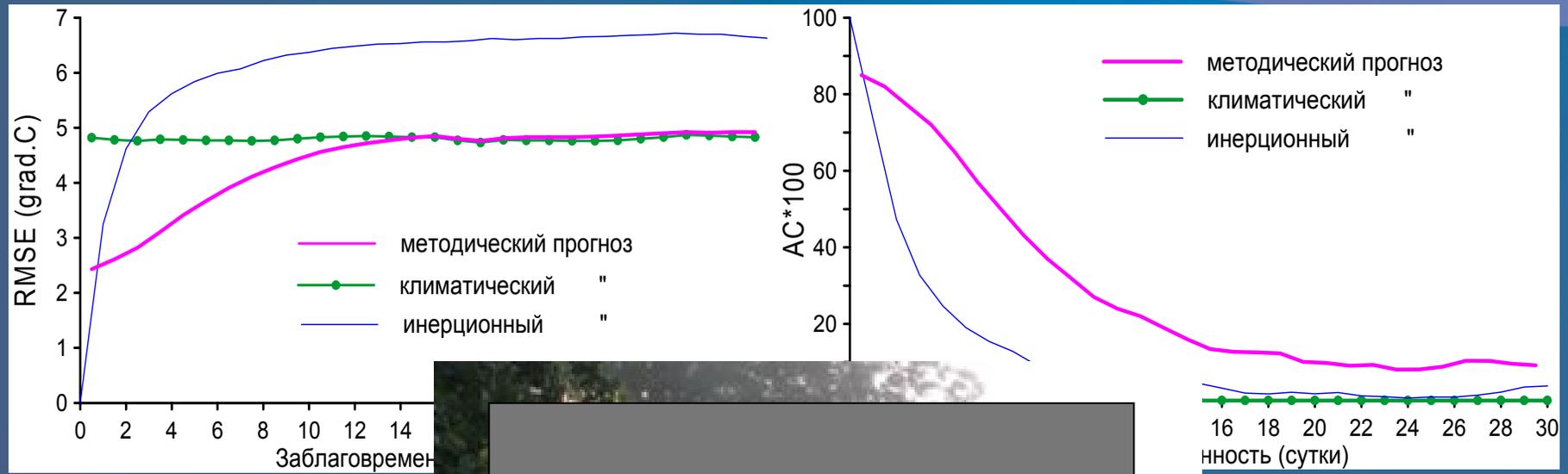
Взаимосвязи стратосферы и тропосферы

Вулканические извержения

Антропогенное влияние

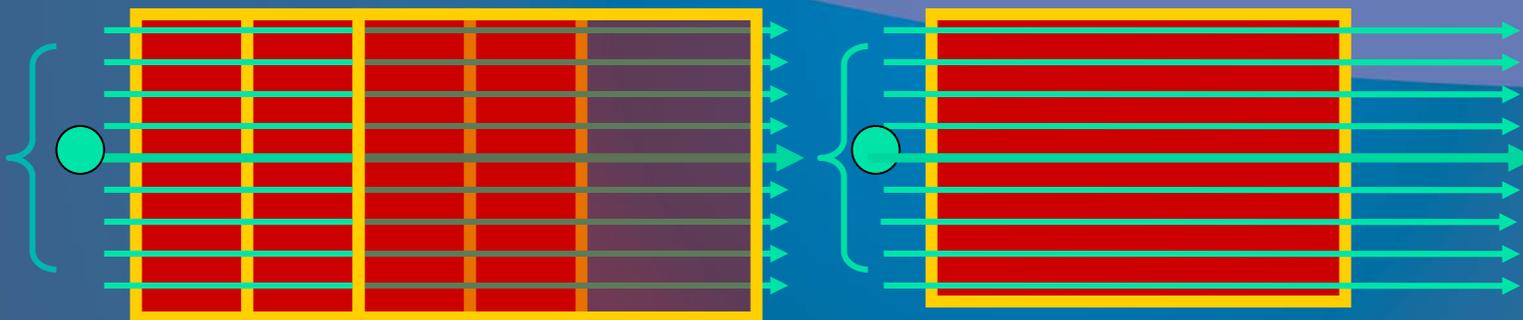


# Успешность прогнозов температуры воздуха по региону Северной Евразии в зависимости от заблаговременности (1979-1998 гг. 480 прогнозов)



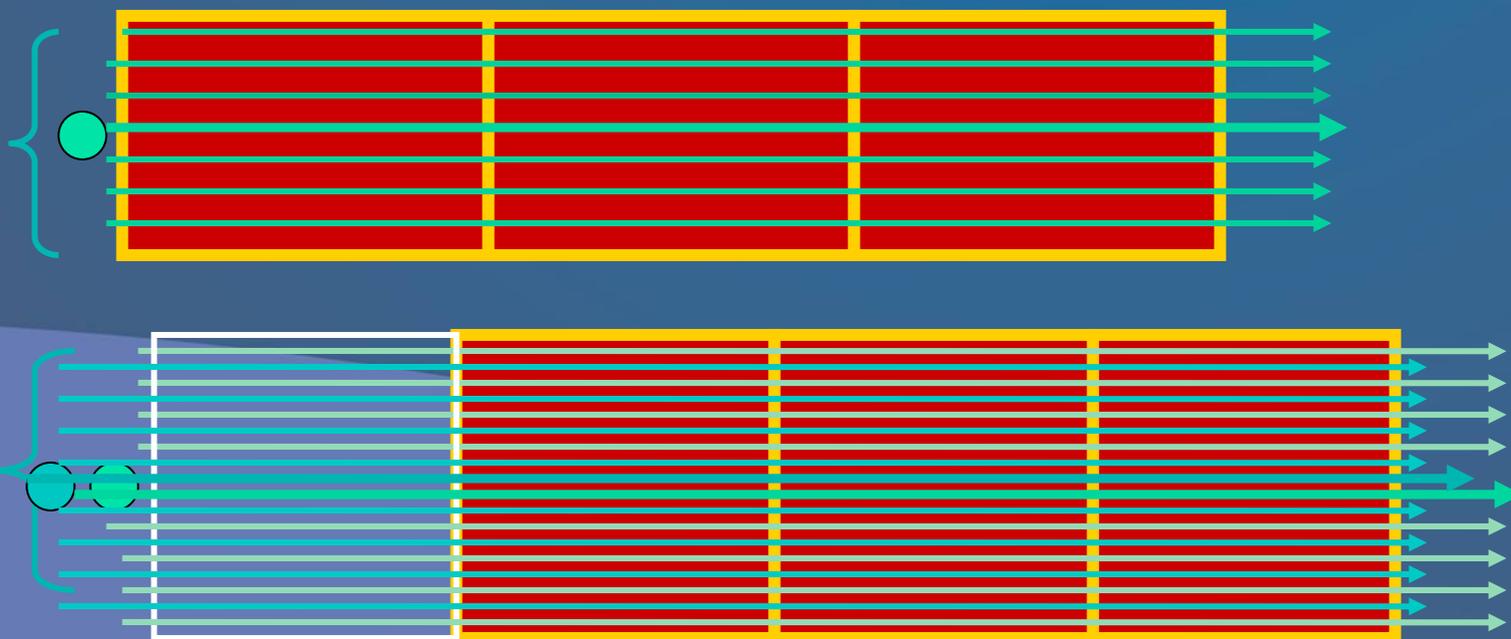
## Прогнозы на скользящий и календарный месяц

Начальные  
атм. поля:  
ОА (ГМЦ РФ)  
+ возмущ.



Аном. SST, ICE

## Сезонные прогнозы (на 3-4 мес.)



1. Сеточные значения (2.5\*2.5) средних недельных и месячных значений H-500, T-850, SLP, T2м, Prec, полученные по данным Реанализа-2 NCEP/NCAR
2. Средние недельные и месячные значения T2м, недельные и месячные суммы осадков по сети 70 станций Северо-Евразийского региона.

## Параметры климатического распределения:

Ср.значения, станд. отклонения, терцили (градации  $<N, N, >N$ )

## Периоды расчета параметров климата:

1. 1981-2010 гг. - для сеточных значений
2. 1961-1990гг. - для сети станций

В еженедельных прогнозах годовой ход выборочных оценок параметров климата сглаживается с использованием 4-х гармоник разложения Фурье

## Модели и ансамбли несовершенны:

- ✓ смещение среднего
- ✓ разброс прогнозов в ансамбле недостаточен
- ✓ разброс прогнозов слабо связан с ошибками прогнозов

## Цель (Gneiting et al., 2007):

Согласованность прогностического вероятностного распределения и наблюдений (фактических повторяемостей) при максимально возможной категоричности вероятностных прогнозов.

## Методы :

- ✓ модель байесовского усреднения (BMA) /Raftery, A. E. et al., 2005/;
- ✓ «dressing» ансамбля (ED) /Roulston, M. S., and L. A. Smith, 2003, Wang, X., and C. H. Bishop, 2005/;
- ✓ неоднородная гауссовская регрессия (NGR) /Gneiting, T. et al., 2005/;
- ✓ логистическая регрессия (LR) /Hamill, T. M. et al., 2005/;
- ✓ и др.

# Коррекция месячных и сезонных прогнозов ГГО

## Удаление смещения:

- расчет аномалий и вероятностей с использованием параметров модельного климата

$$\Delta P_i = P_i - \bar{P}$$

$$\Delta F_i = F_i - \bar{F}$$

- приведение модельного климата к эталонному

$$P_i' = P_i - (\overline{P_i - F_i})'$$

## Расчет вероятностей:

- Прямой (непараметрический), с коррекцией смещения (НПКС) (Вероятности = относительным частотам попадания членов ансамбля в соответствующие градации модельного климатического распределения).
- Параметрический, с коррекцией смещения и стандартного отклонения (ПКСС)
  - $N(\bar{x}_i', \sigma_i'^2)$  (удаление смещения, среднего, коррекция стандартных отклонений( $\sigma$ ) распределения ансамбля).
- ВМА - (расчет вероятностей на основе байесовского осреднения).

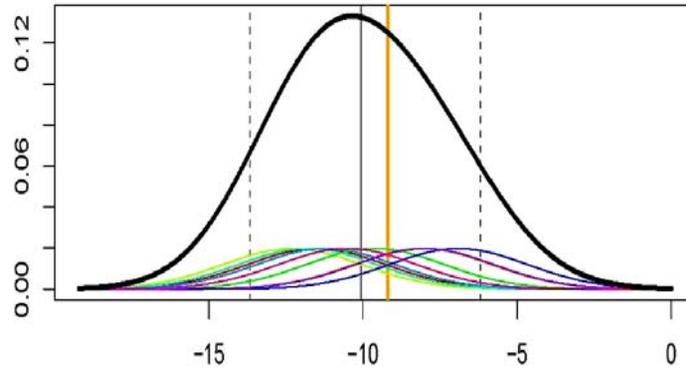
# Вероятностные прогнозы T2м на январь 1982 г. на основе ВМА

1 нед.

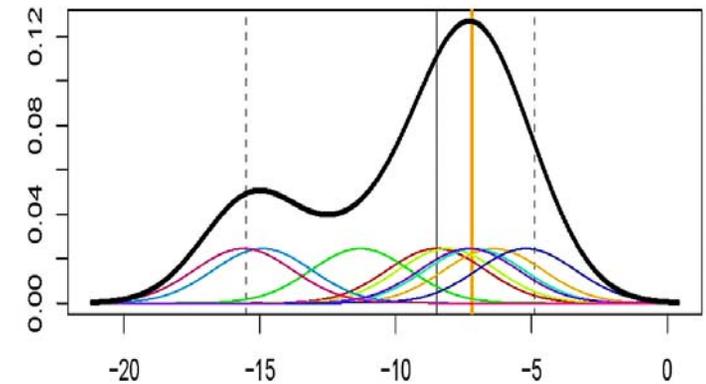
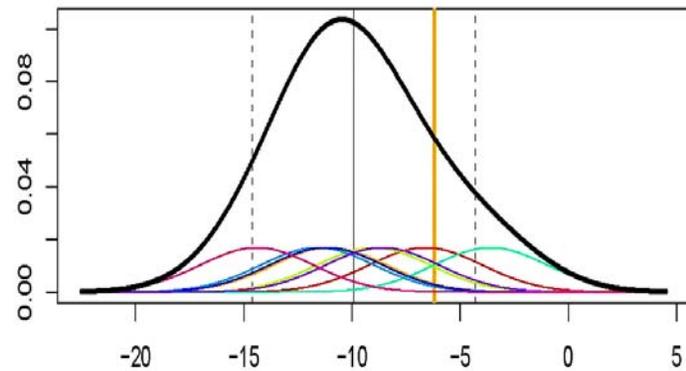
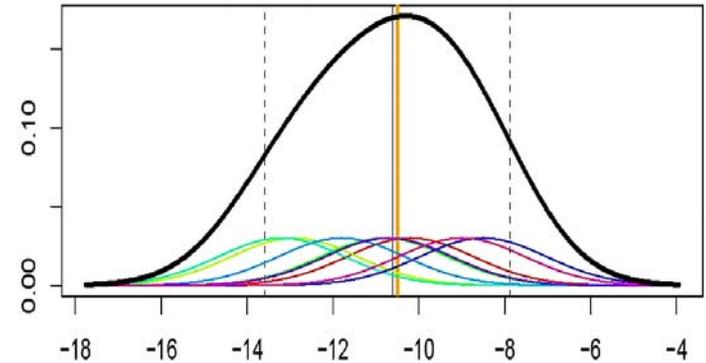
Месяц

Вероятность

Санкт-Петербург

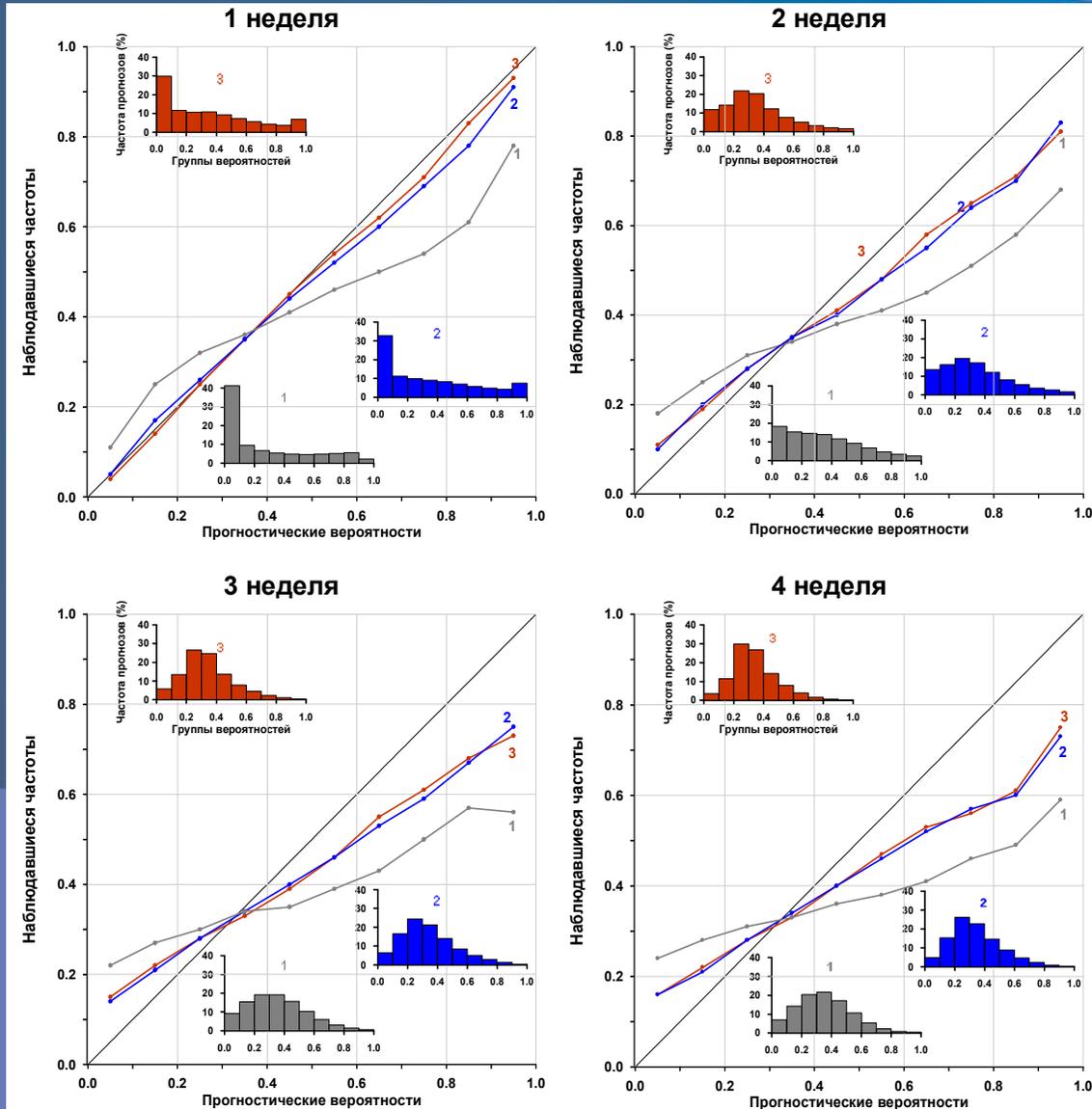


Москва



Температура воздуха

# Диаграммы надежности и гистограммы повторяемости независимых вероятностных прогнозов T2m на 1, 2, 3, 4 недели прогностического месяца для трех методов калибровки



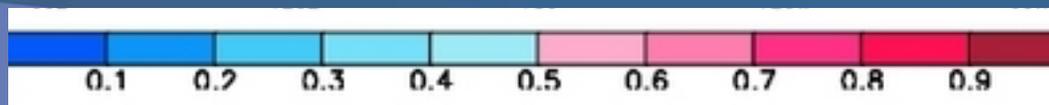
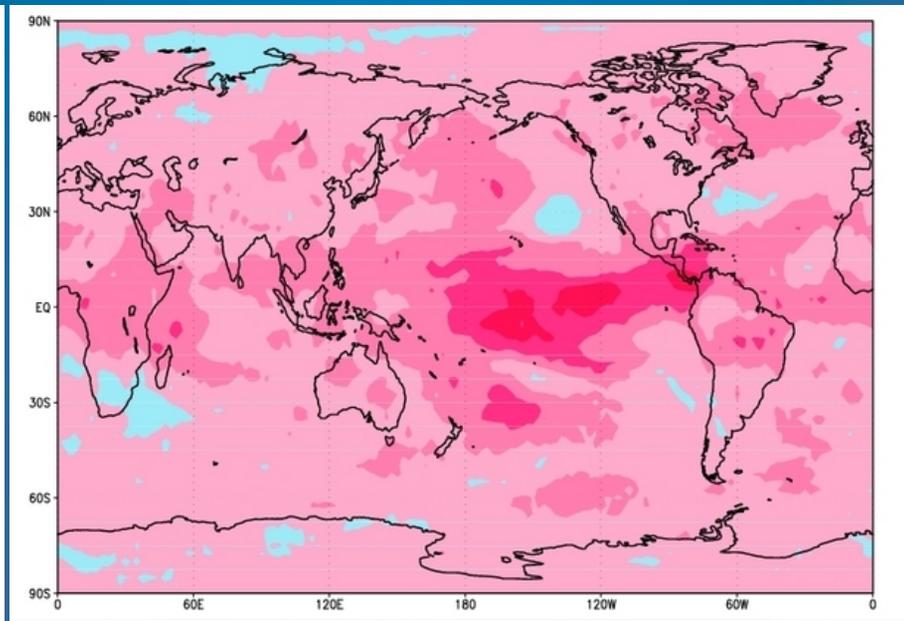
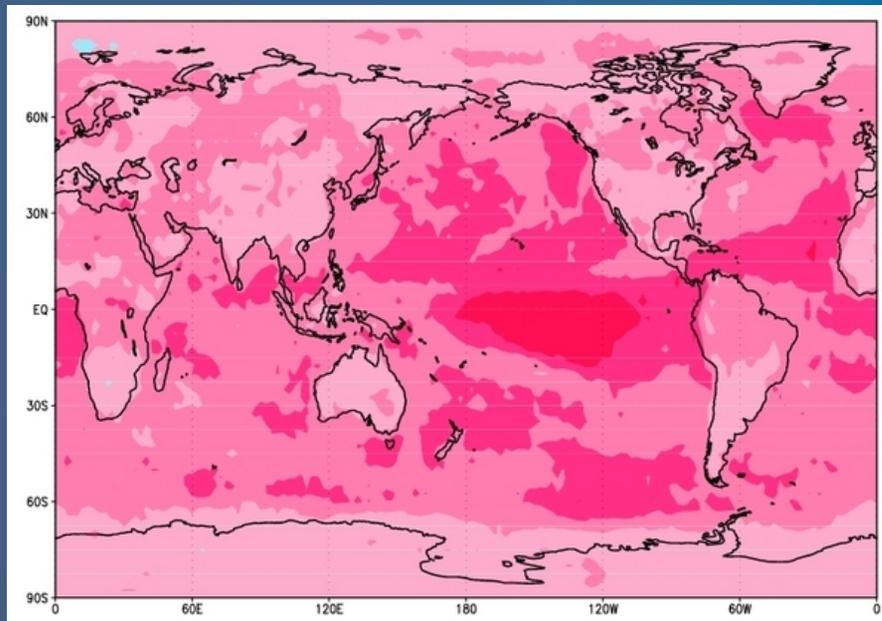
2002-2011гг.  
(520 прогнозов)

1 - НПКС

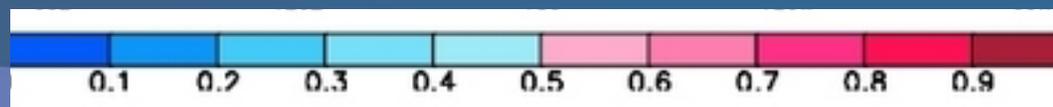
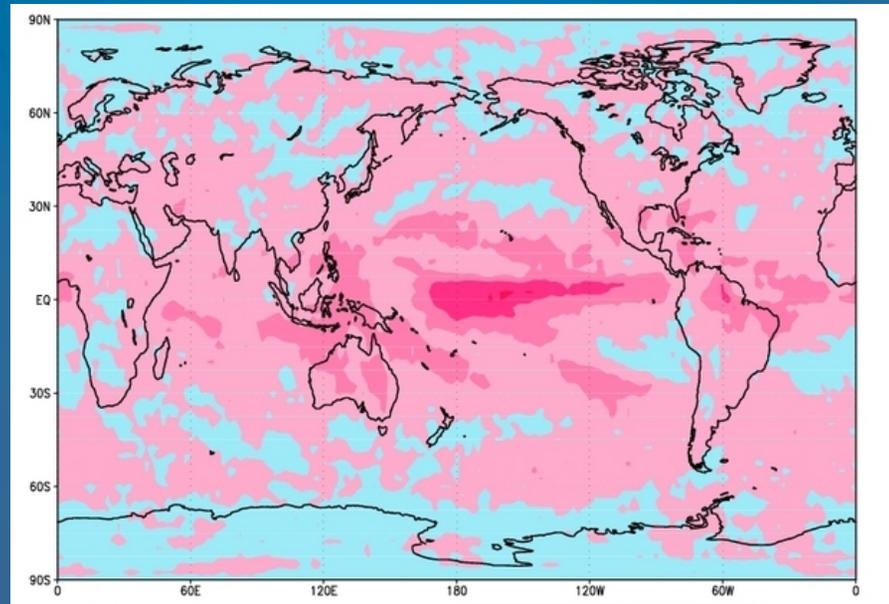
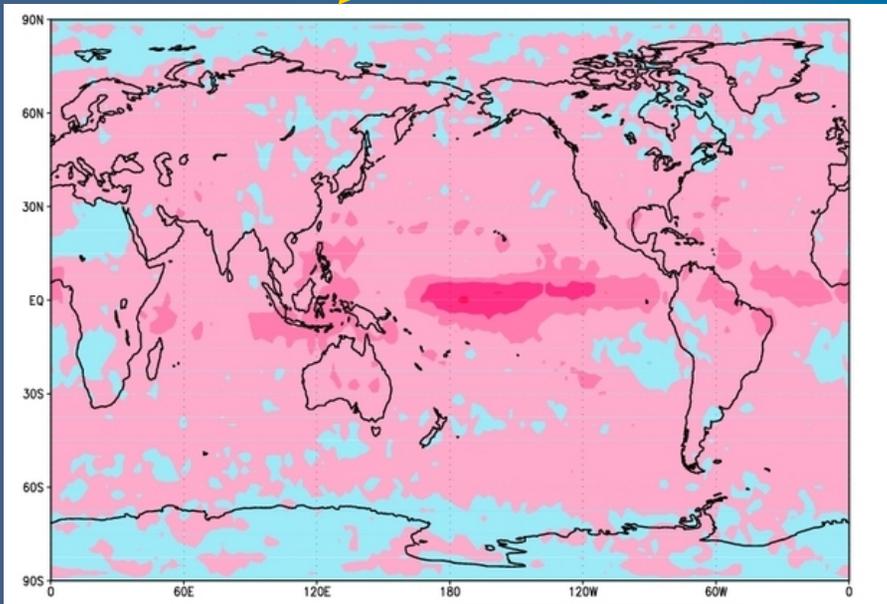
2 – ВМА

3 - ПКСС

# Сравнительная оперативная характеристика (AROC) прогнозов ГГО месячных и сезонных аномалий T2м (264 прогноза, 1982-2004)

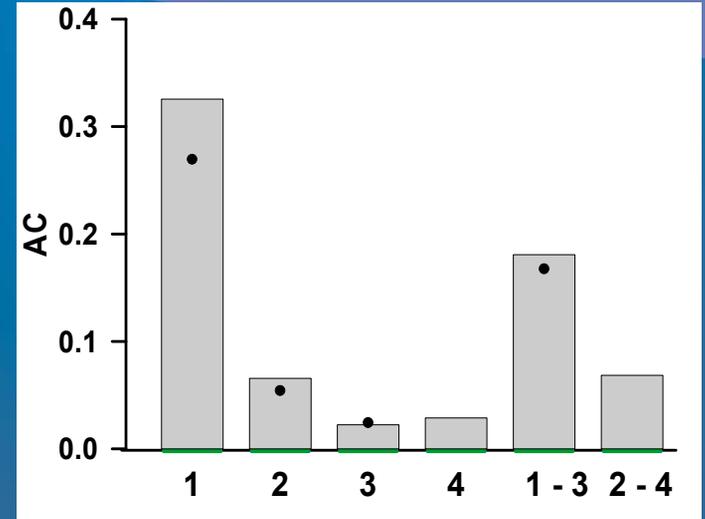
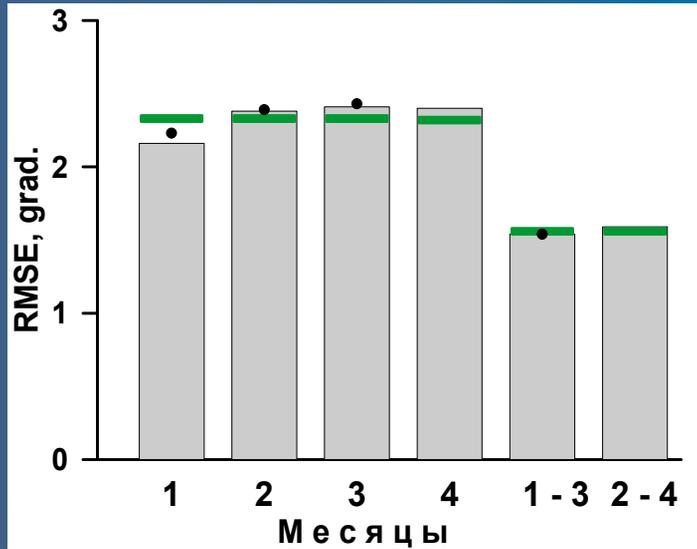


# Сравнительная оперативная характеристика (AROC) прогнозов ГГО месячных и сезонных аномалий PREC

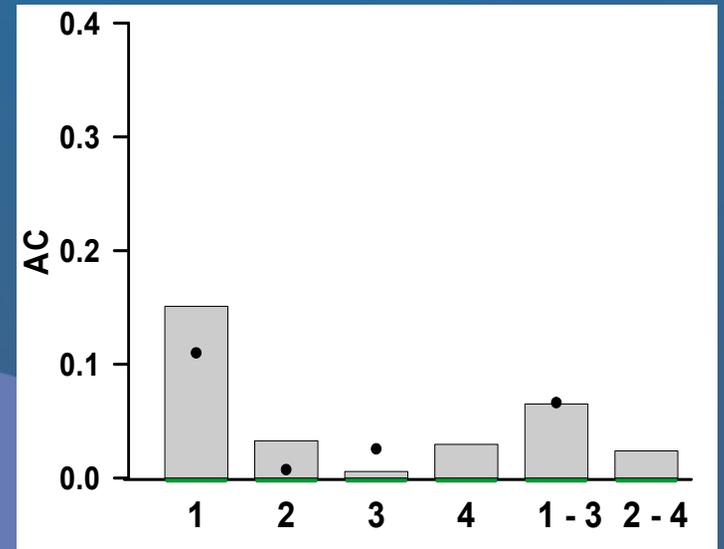
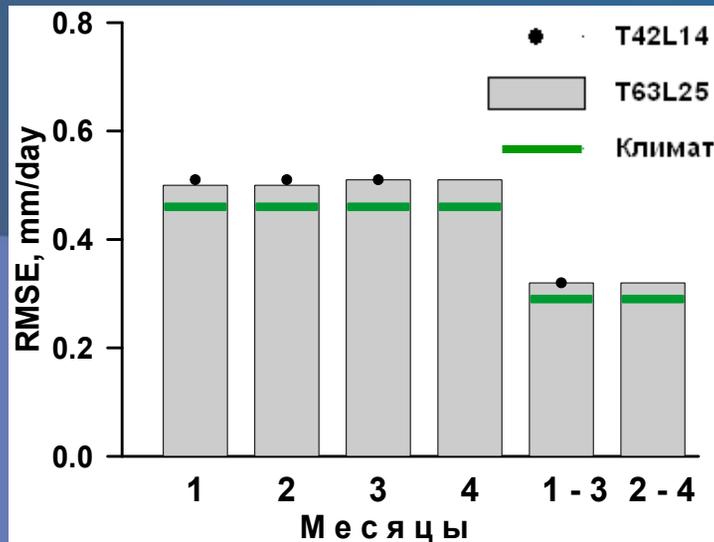


# Оценки сезонных прогнозов аномалий T2м и PREC для Северо-Евразийского региона (264 прогноза, 1982-2004)

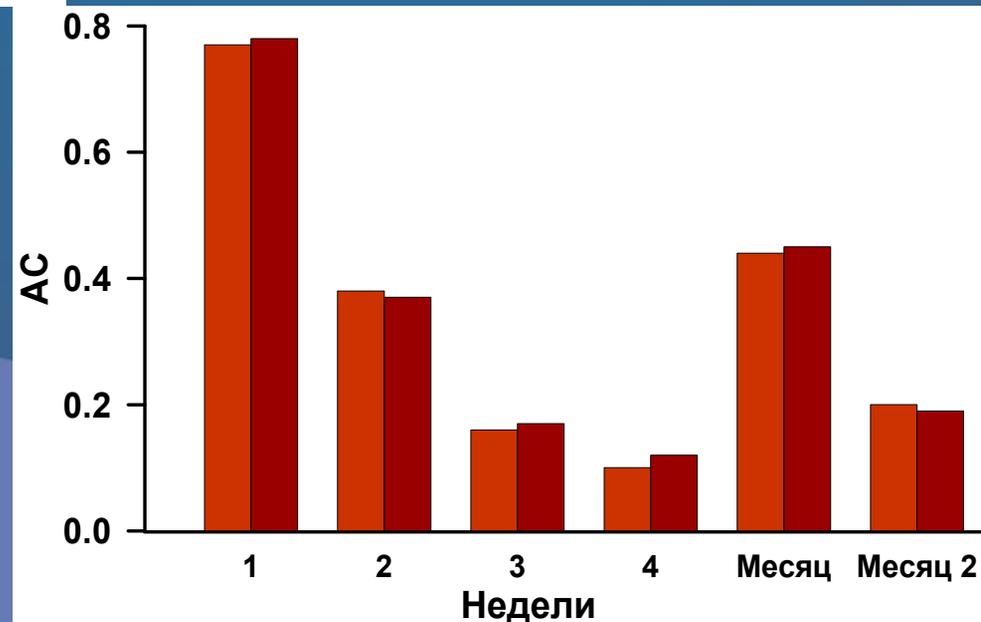
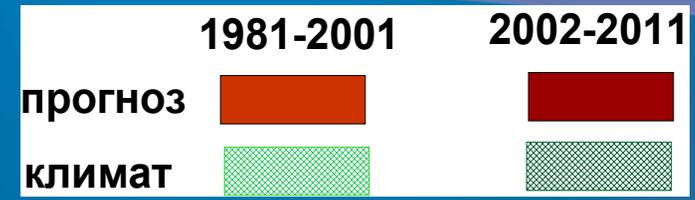
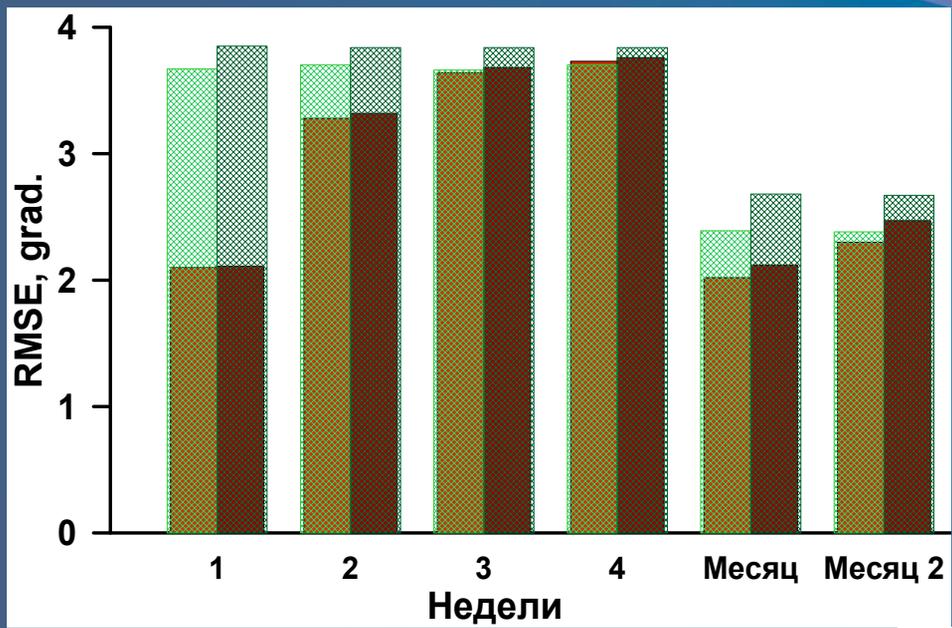
T2M



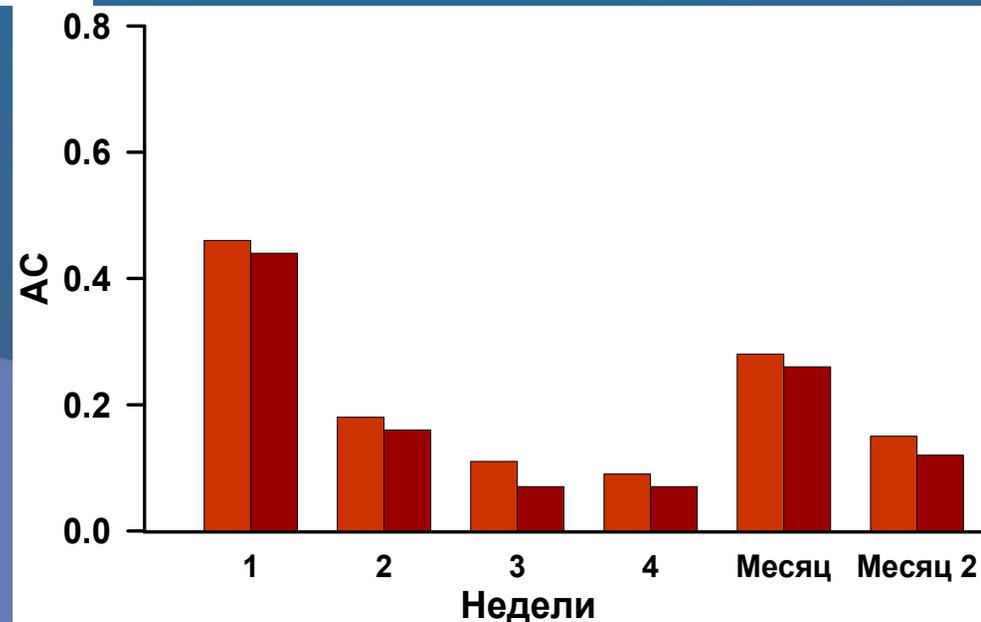
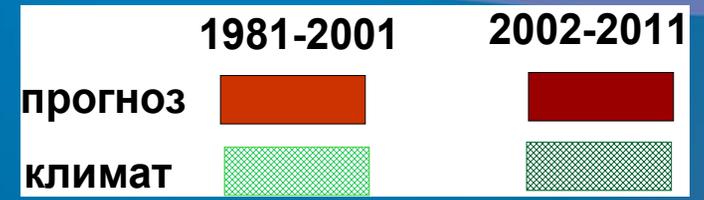
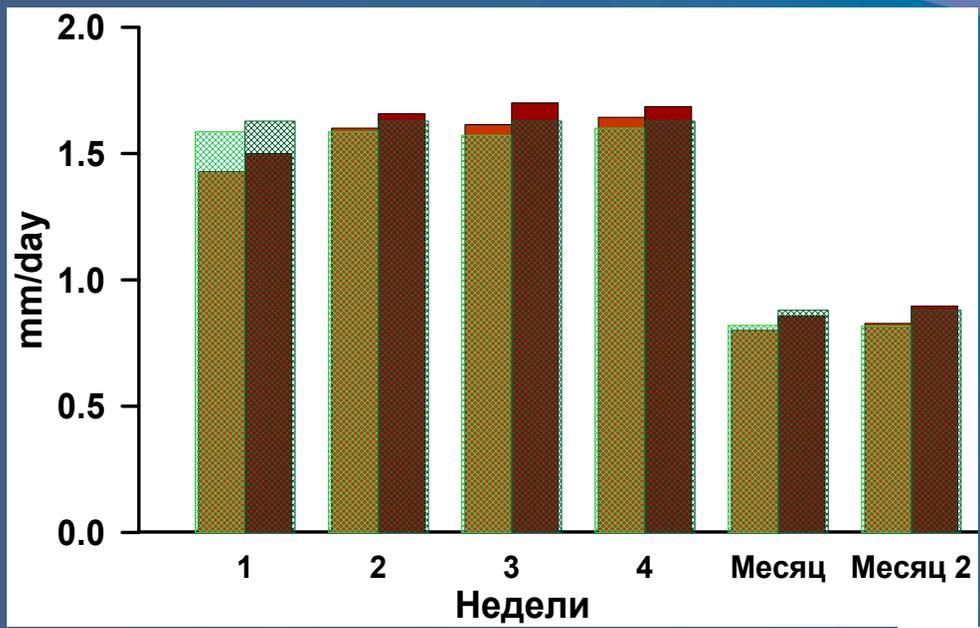
PREC



# Оценки детализированных месячных прогнозов аномалий T2m по 70 станциям Северо-Евразийского региона



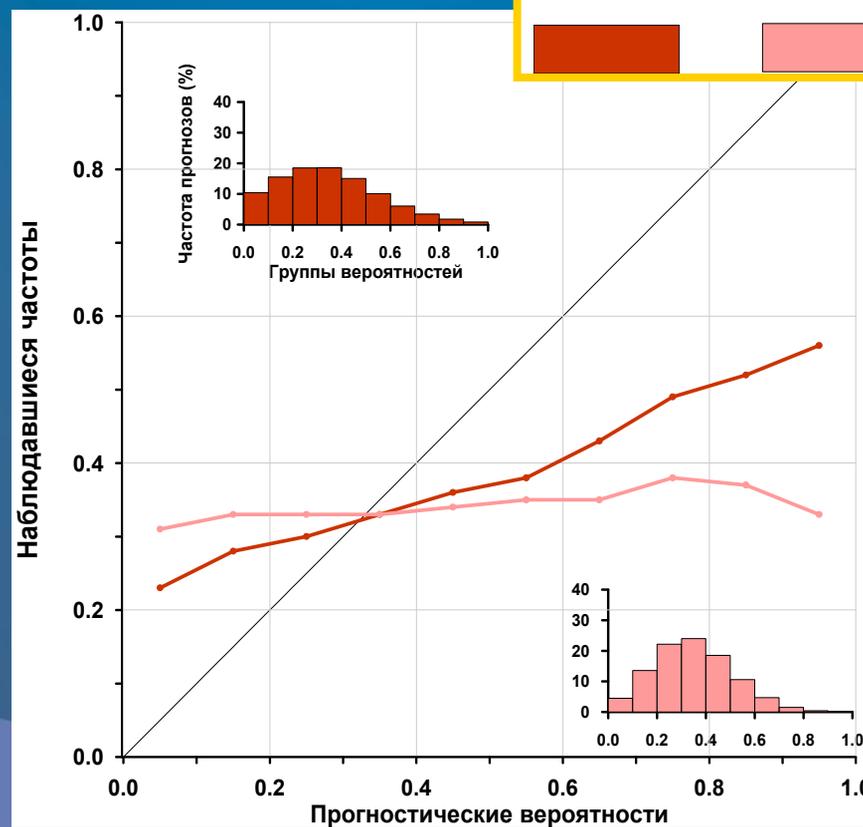
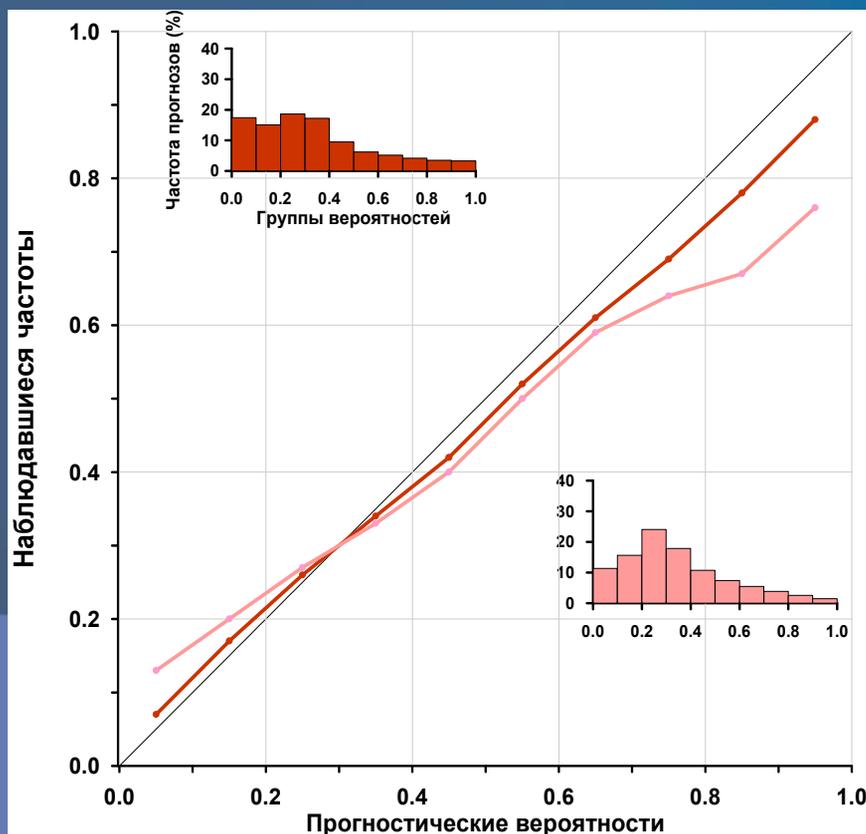
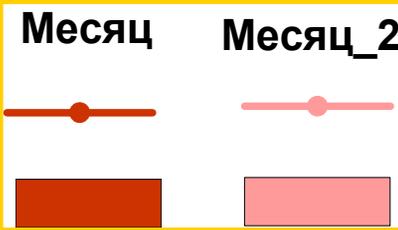
# Оценки детализированных месячных прогнозов аномалий PREC по 70 станциям Северо-Евразийского региона



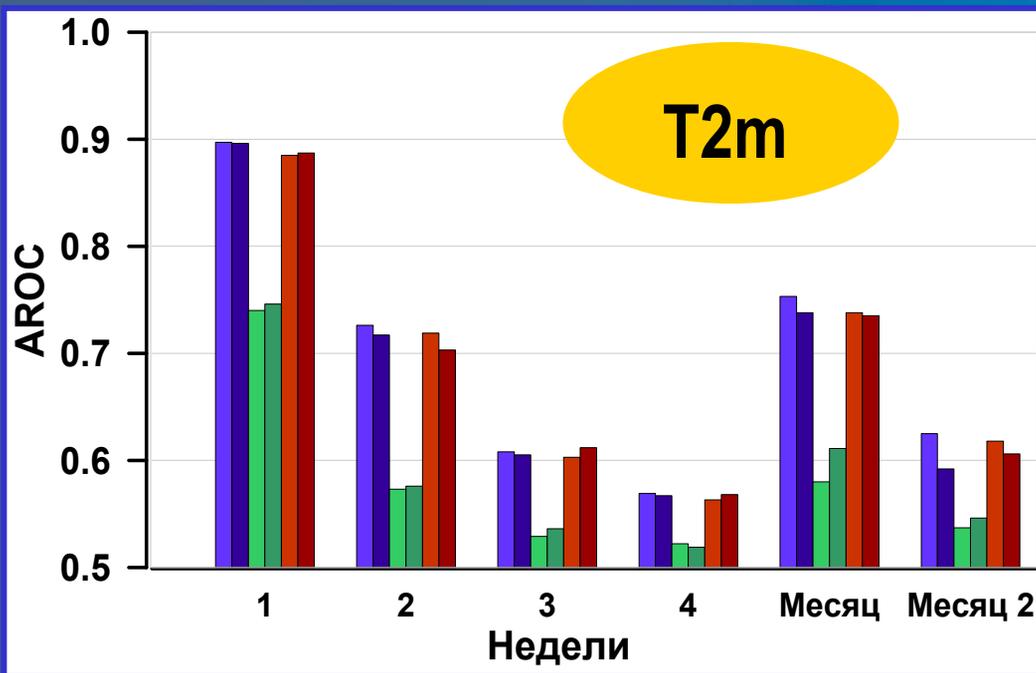
# Диаграммы надежности месячных вероятностных прогнозов температуры воздуха и осадков по 70 станциям (2002-2011 гг)

**T2M**

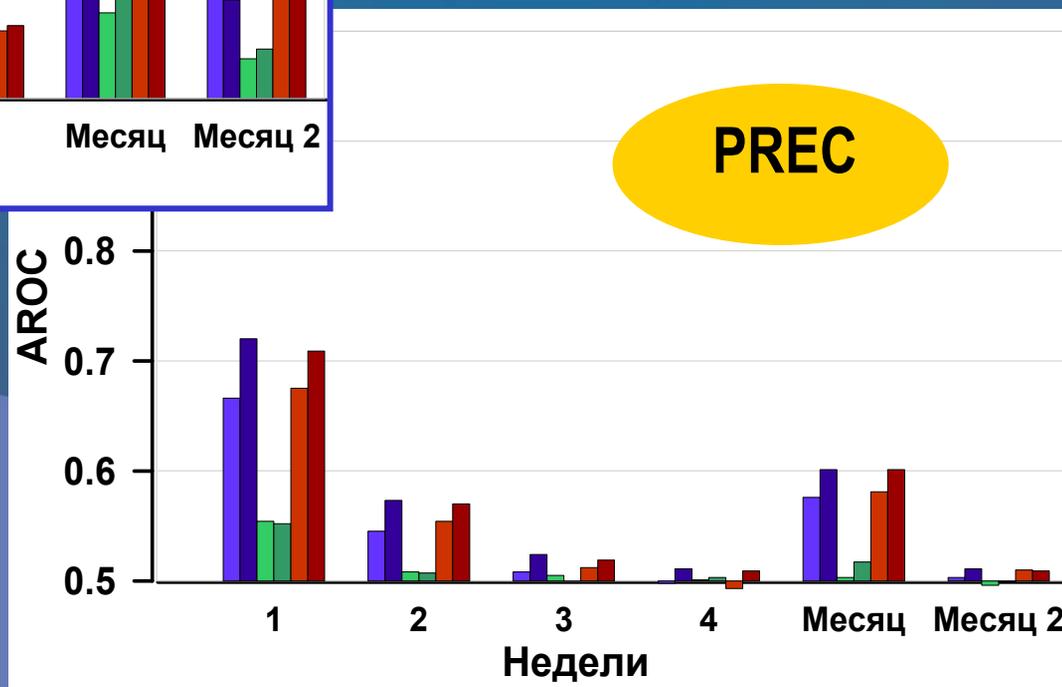
**PREC**



# AROC детализированных вероятностных прогнозов для Северо-Евразийского региона



	<N	N	>N
1981-2001			
2002-2011			

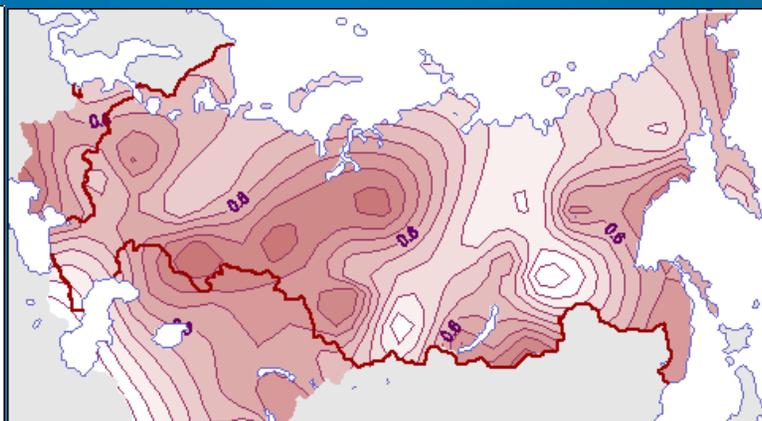
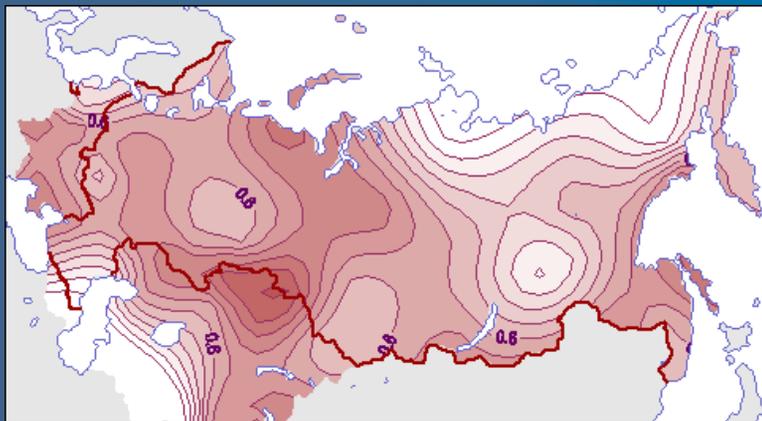


# AROC вероятностных прогнозов месячных аномалий PREC (2002-2011гг. 522 прогноза)

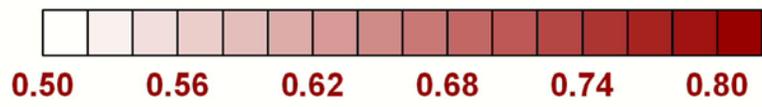
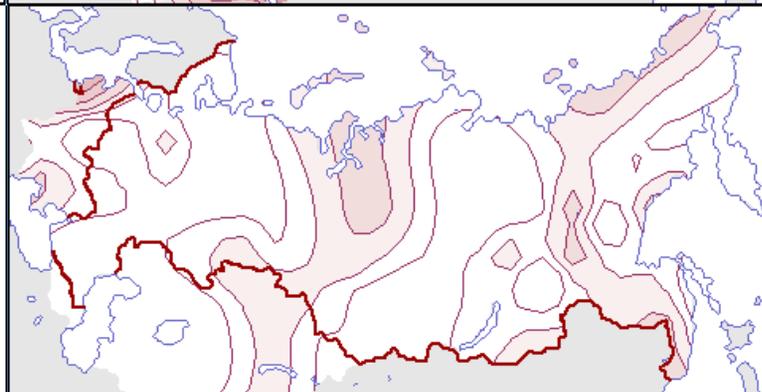
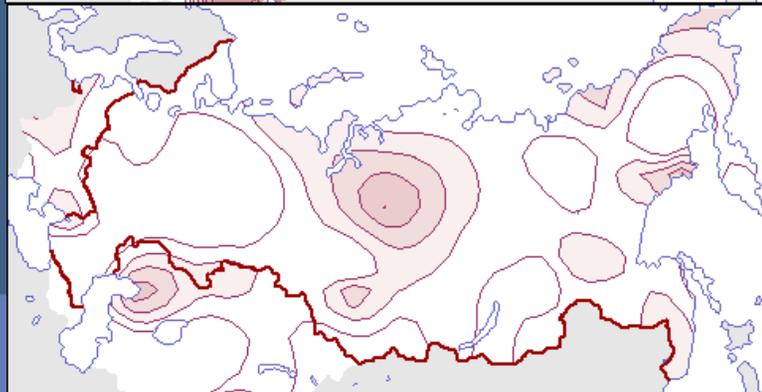
PREC < N

PREC > N

2 - 31  
сутки



16 - 45  
сутки



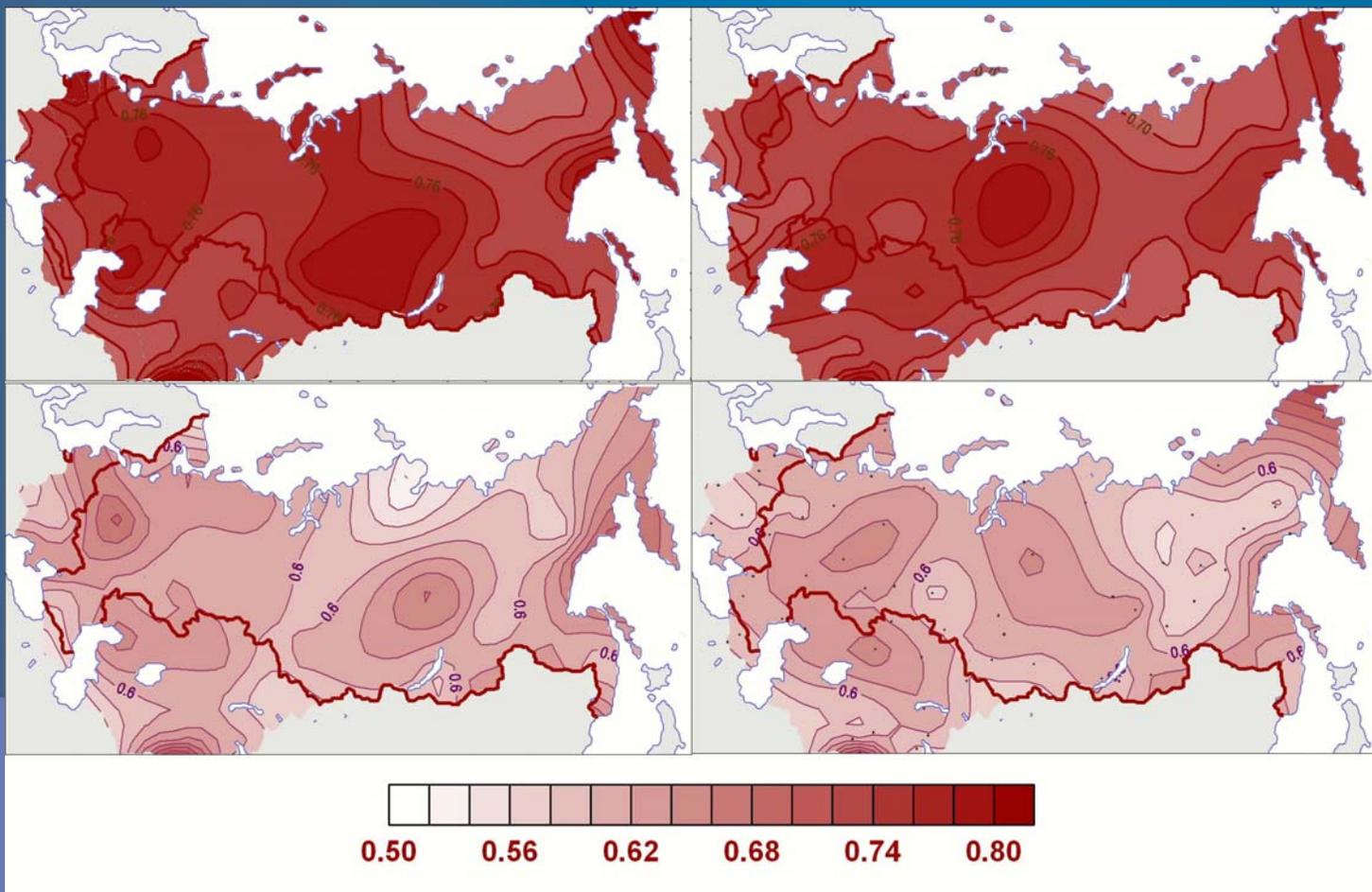
# AROC вероятностных прогнозов месячных аномалий T2m (2002-2011гг. 522 прогноза)

$T < N$

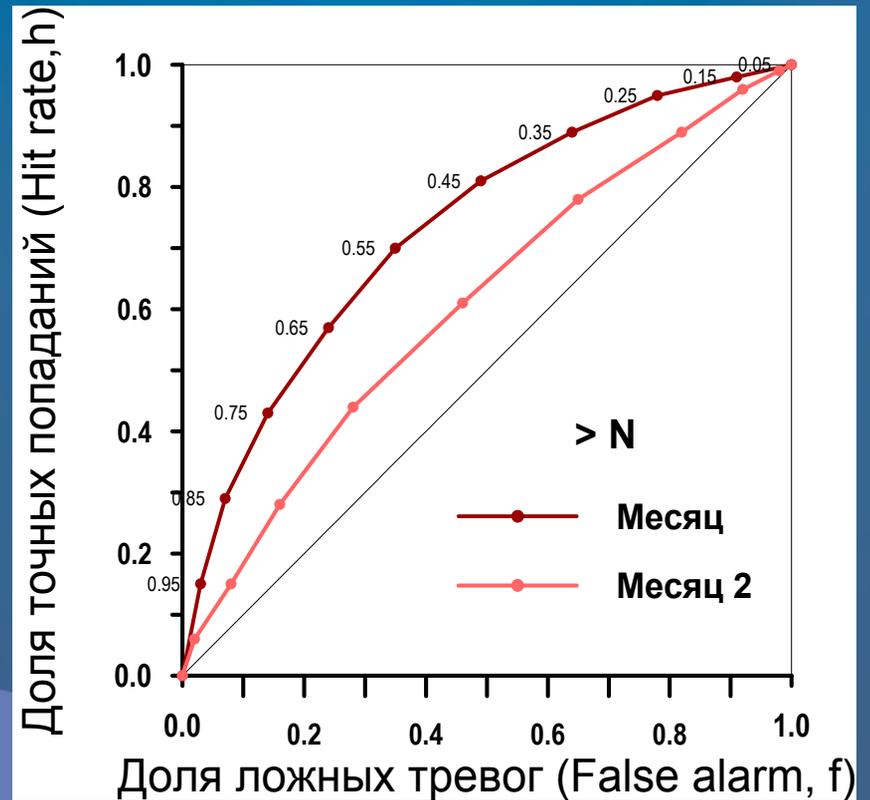
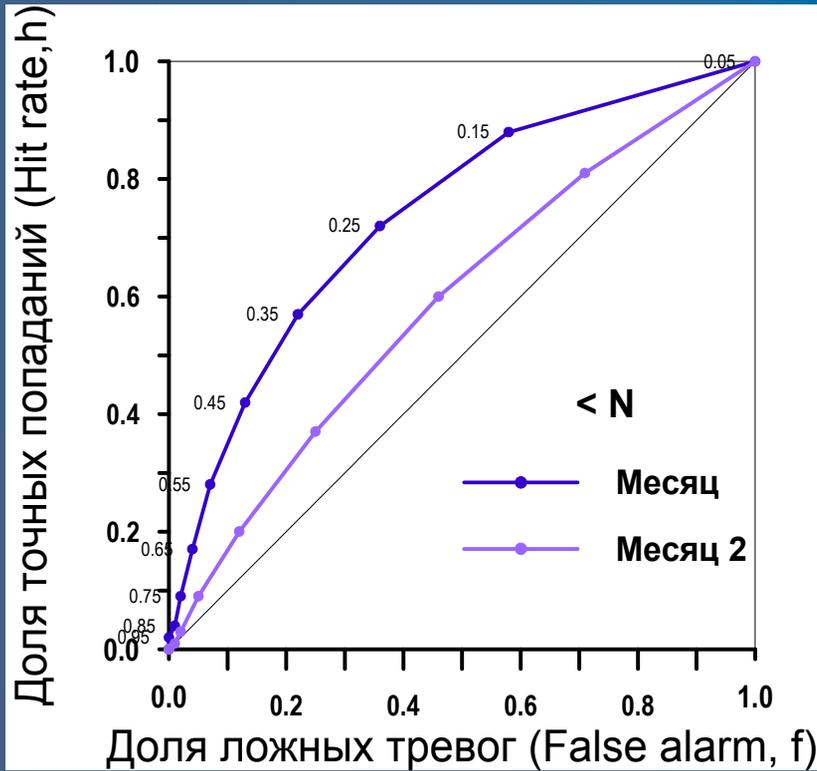
$T > N$

2 - 31  
сутки

16 - 45  
сутки



# ROC вероятностных прогнозов T2м и по 70 станциям Северо-Евразийского региона (522 прогноза 2002-2011гг)



# Пример оценки относительной экономической эффективности вероятностных прогнозов месячных аномалий Т2м (ст. Туруханск, 2002-2011г. 522 прогноза)

Прогноз градации  $> N$   
с вероятностью  $P > 0.4$

Матрица затрат/потерь (cost/loss)

		ЯВЛЕНИЕ	
		ДА	НЕТ
М Е Р Ы	ДА	C	C
	НЕТ	L	0

ЯВЛЕНИЕ

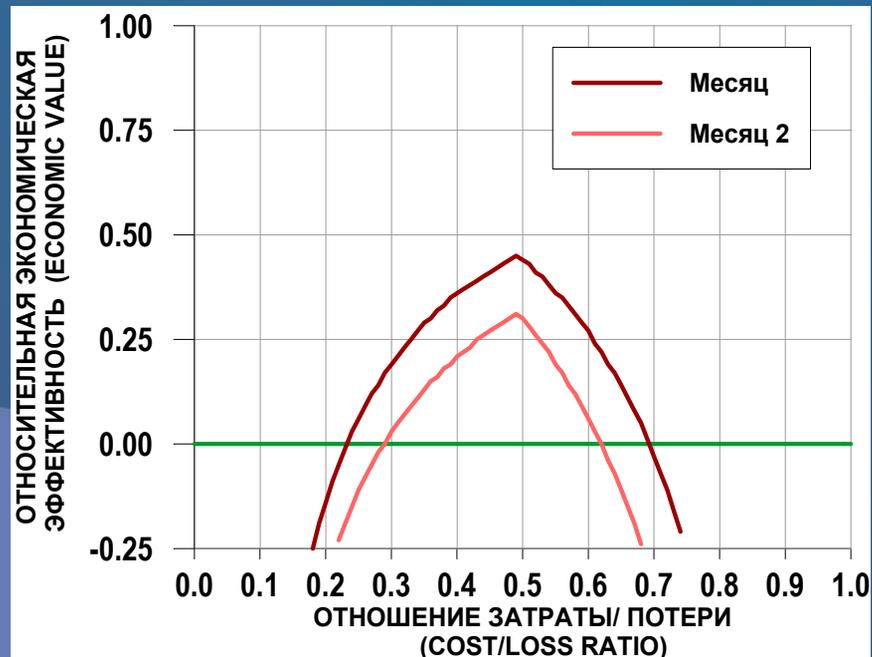
П Р О Г Н О З		ЯВЛЕНИЕ	
		ДА	НЕТ
П Р О Г Н О З	ДА	a	b
	НЕТ	c	d

$$E_p = aC + bC + cL$$

$$E_{perf} = \bar{0}C$$

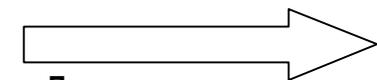
$$E_{cl} = \min(C, \bar{0}L)$$

$$V = \frac{E_{cl} - E_p}{E_{cl} - E_{perf}}$$

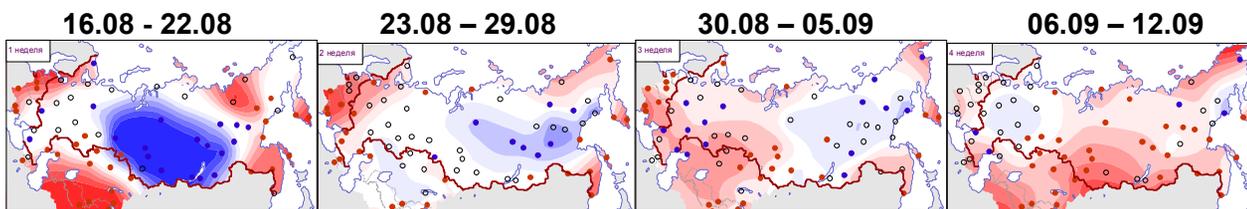


# Пример еженедельного вероятностного прогноза трех градаций T2м (<N, N, >N) на скользящий месяц в сравнении с фактическими данными

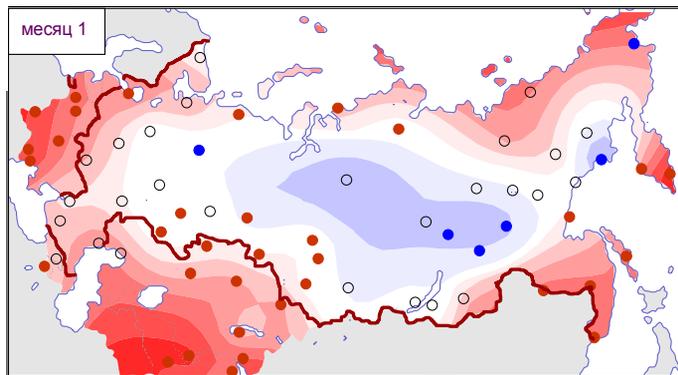
прогноз на 30 суток, детализированный по неделям



Дата  
прогноза:  
15.08.2012



16.08 -  
- 14.09



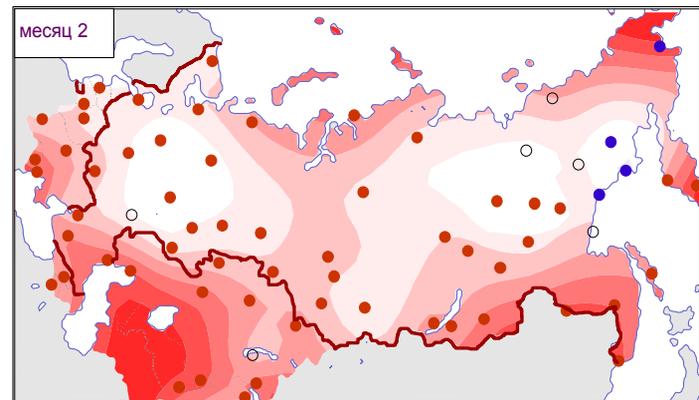
белый фон означает, что вероятности всех трех градаций  
приблизительно равны (прогноз близок климатическому)

ФАКТИЧЕСКИЕ ГРАДАЦИИ АНОМАЛИИ:

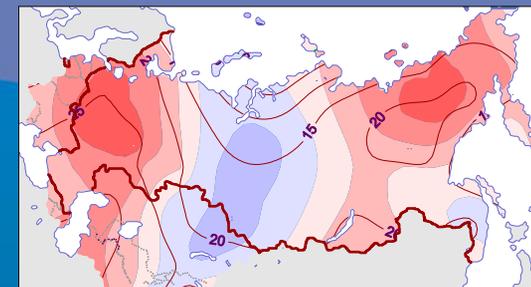
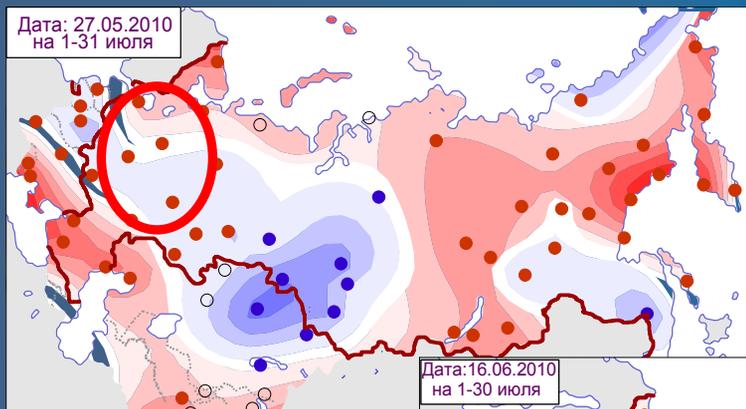
● ниже нормы    ○ норма    ● выше нормы

прогноз на месяц с  
заблаговременностью  
две недели

30.08 - 28.09

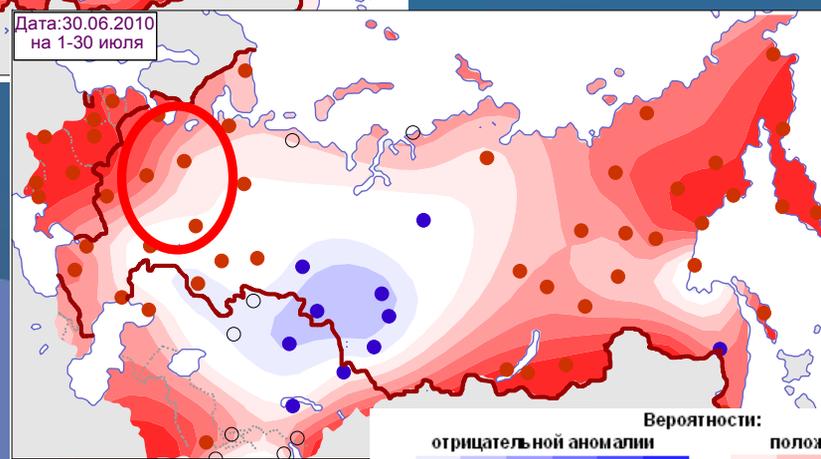
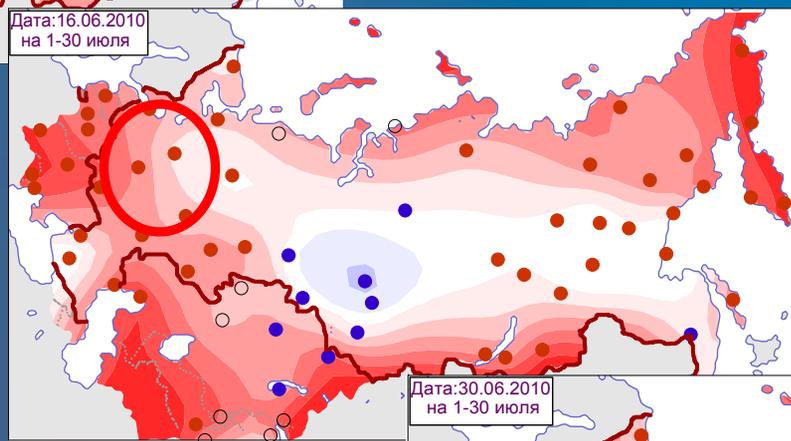


# Вероятностный прогноз аномалии T2м на июль 2010



фактические аномалии

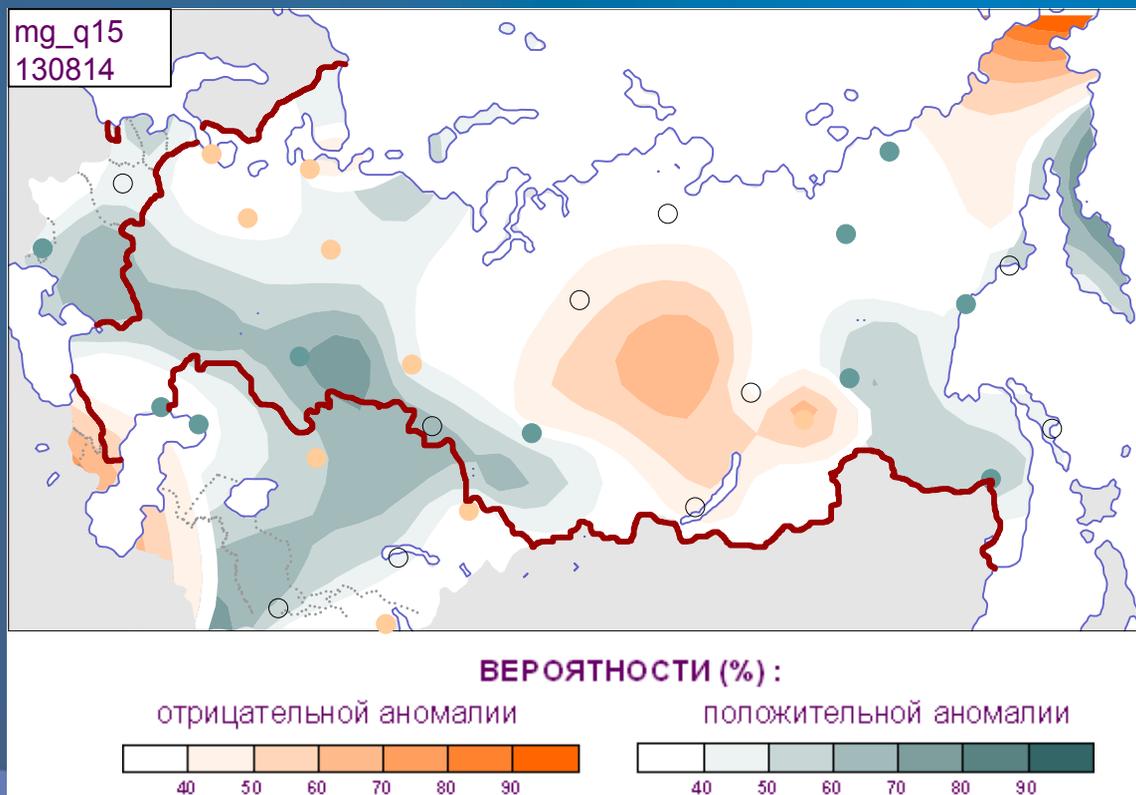
16-45 сутки



2-31 сутки



# Оправдываемость вероятностного прогноза осадков на 29.08 – 27.09.2013 (заблаговременность 15 суток)



# Заключение

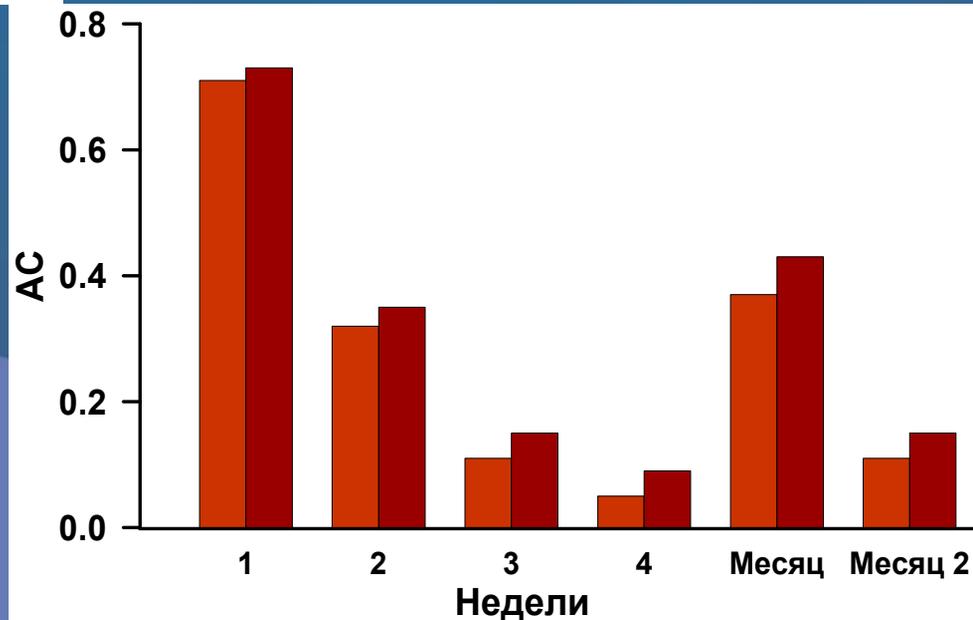
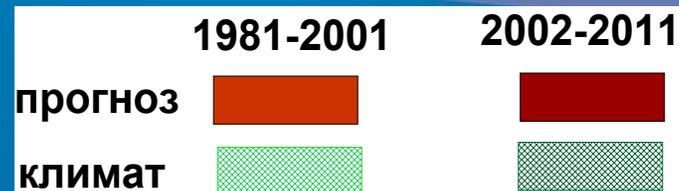
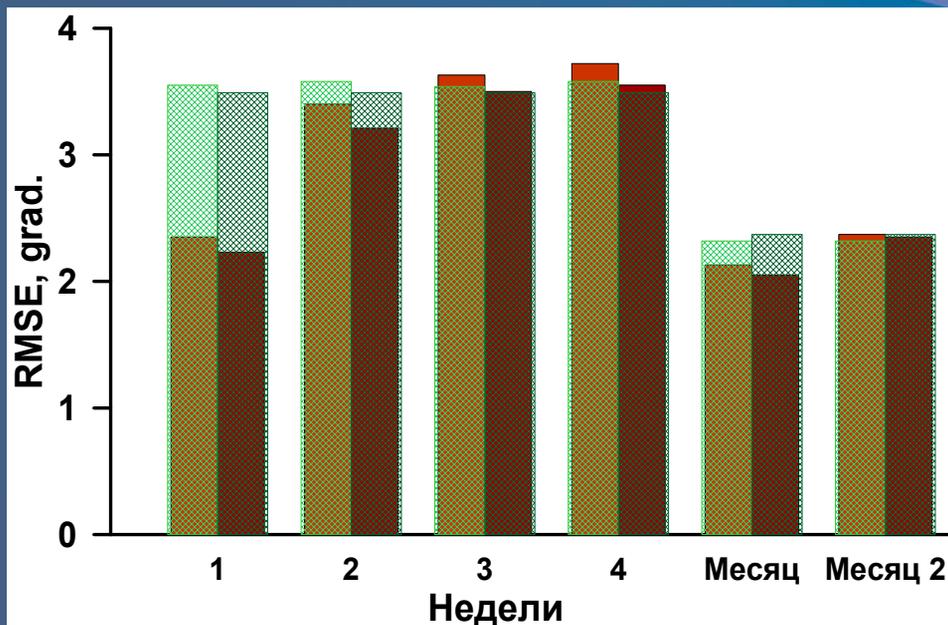
Несмотря на объективные трудности сезонного прогнозирования во внетропических широтах, обусловленные большой синоптической изменчивостью, перспективы их улучшения не исчерпаны.

Для улучшения прогнозов необходимо совершенствование моделей, развитие систем наблюдений и анализа данных.

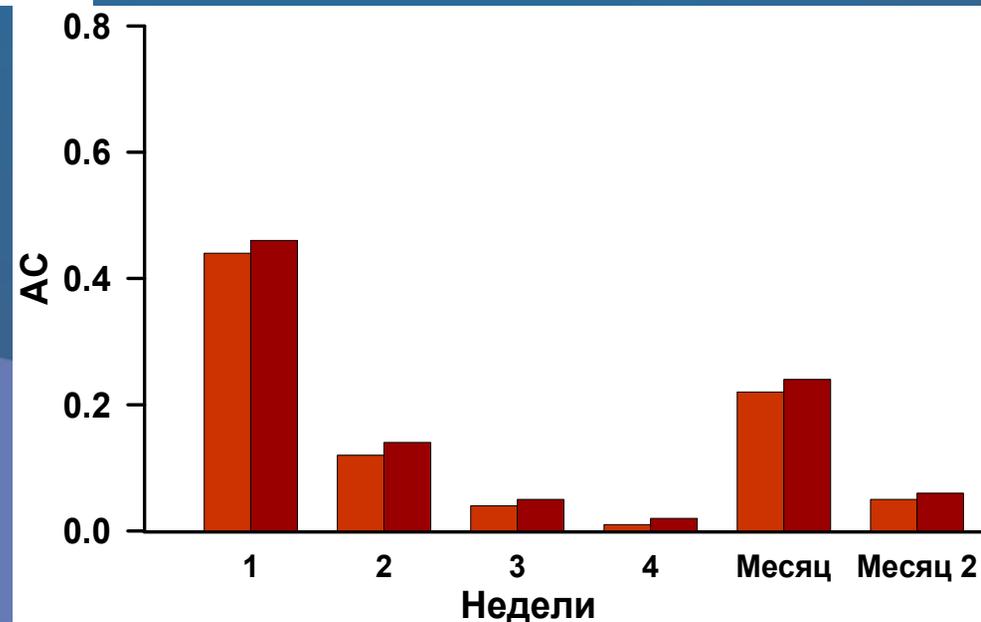
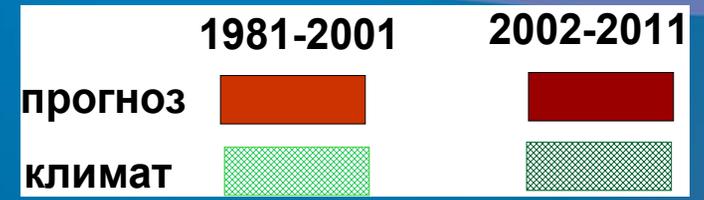
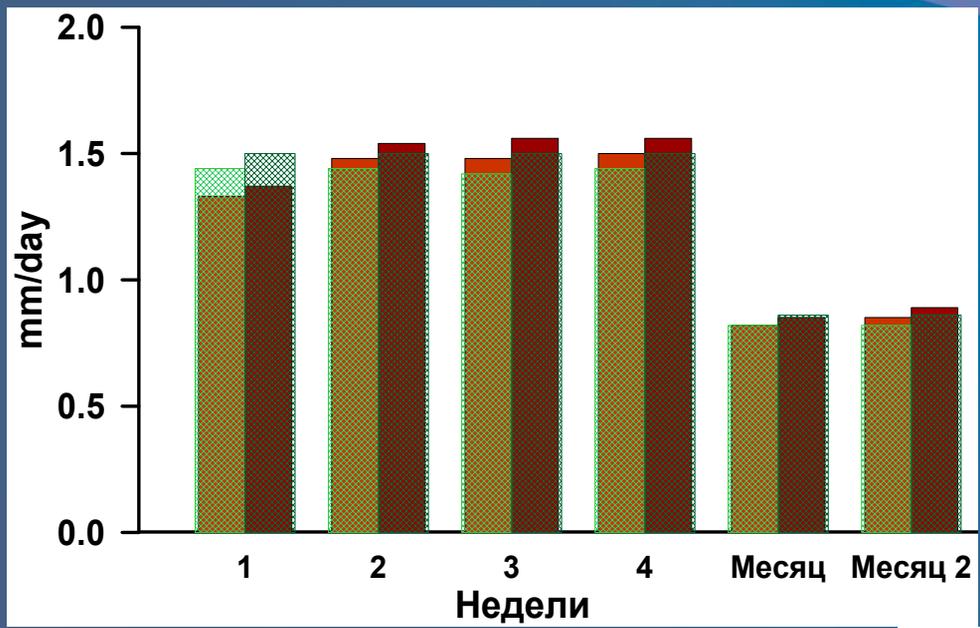
Важным направлением исследований является выявление сигналов долговременной памяти и развитие моделей в направлении адекватного представления механизмов воздействия этих сигналов (Эль-Ниньо, Арктическое и Северо-Атлантическое колебания, МЮ, процессы в стратосфере и их взаимодействие с тропосферой, Ледовитость в Арктике, влажность почвы и др.).

Современный уровень долгосрочных прогнозов показывает, что некоторые прогнозы на месячном и субсезонном временных интервалах (например, по T 2м) имеют преимущества по сравнению с климатической информацией. Для определения областей их приложения и оптимального использования необходимо во взаимодействии с потенциальными потребителями разрабатывать формы представления вероятностных прогнозов связанные со стратегией принятия решений.

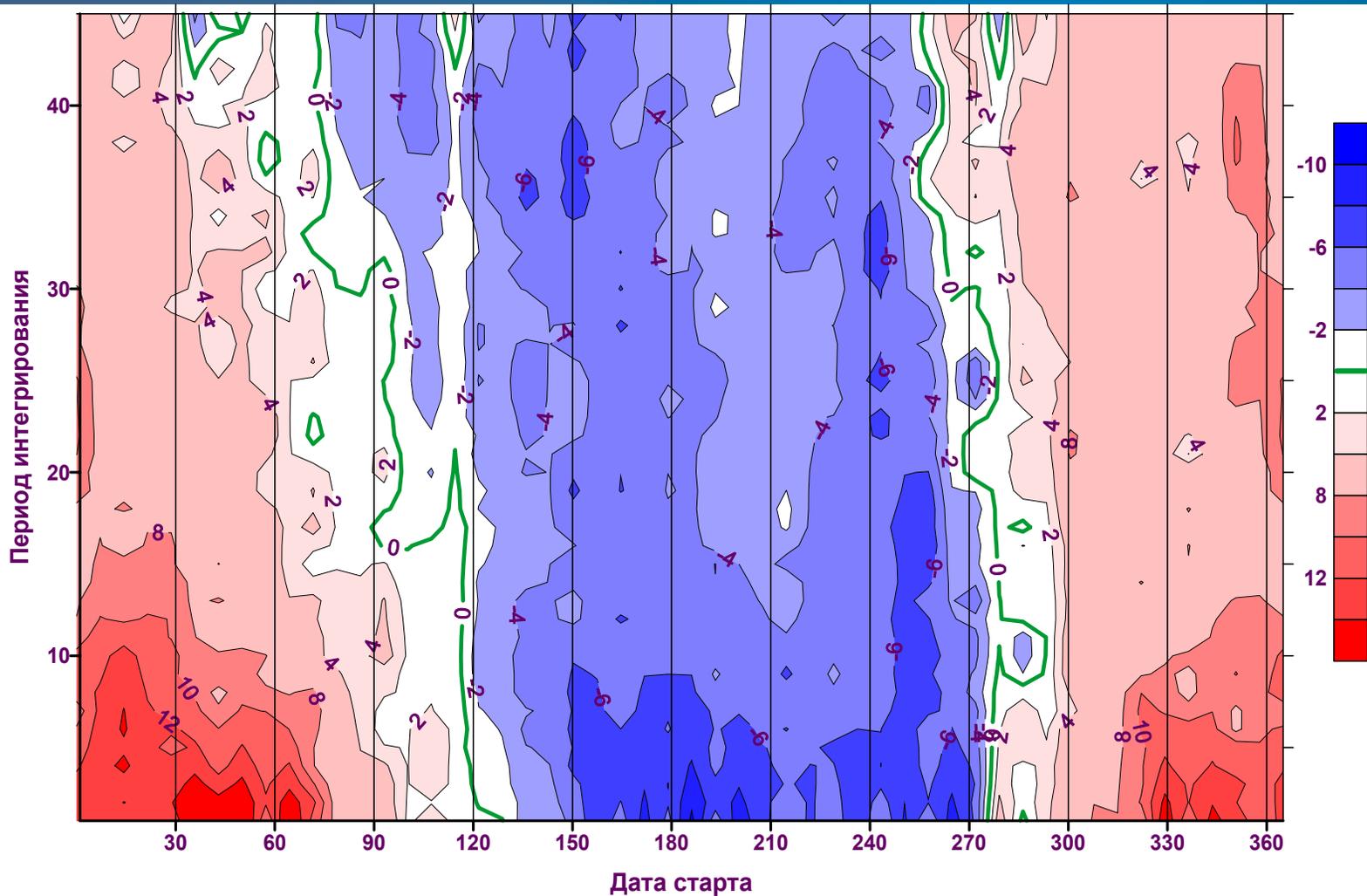
# Оценки сеточных полей аномалий T2m для Северо-Евразийского региона



# Оценки сеточных полей аномалий PREC для Северо-Евразийского региона



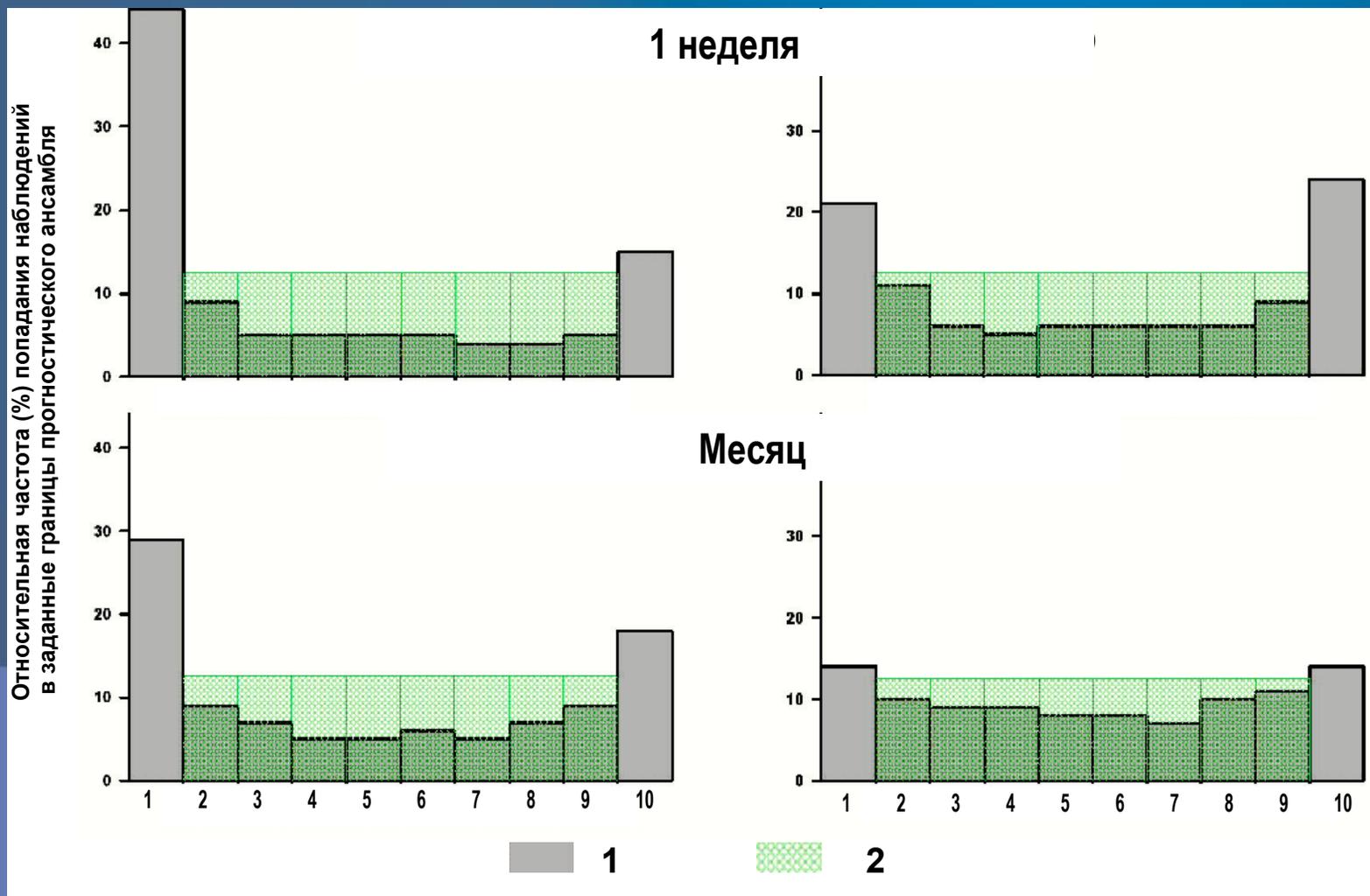
# Систематические ошибки Т2м на ст. Верхоянск в зависимости от даты расчета и заблаговременности



# Ранговые гистограммы для ансамблей прогнозов T2м на 1 неделю и месяц

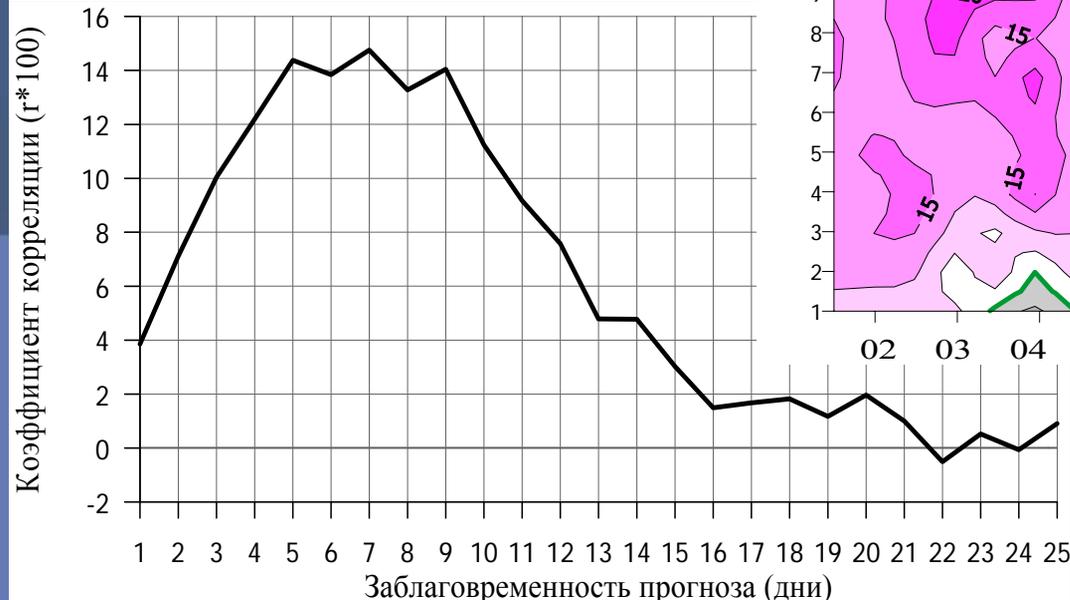
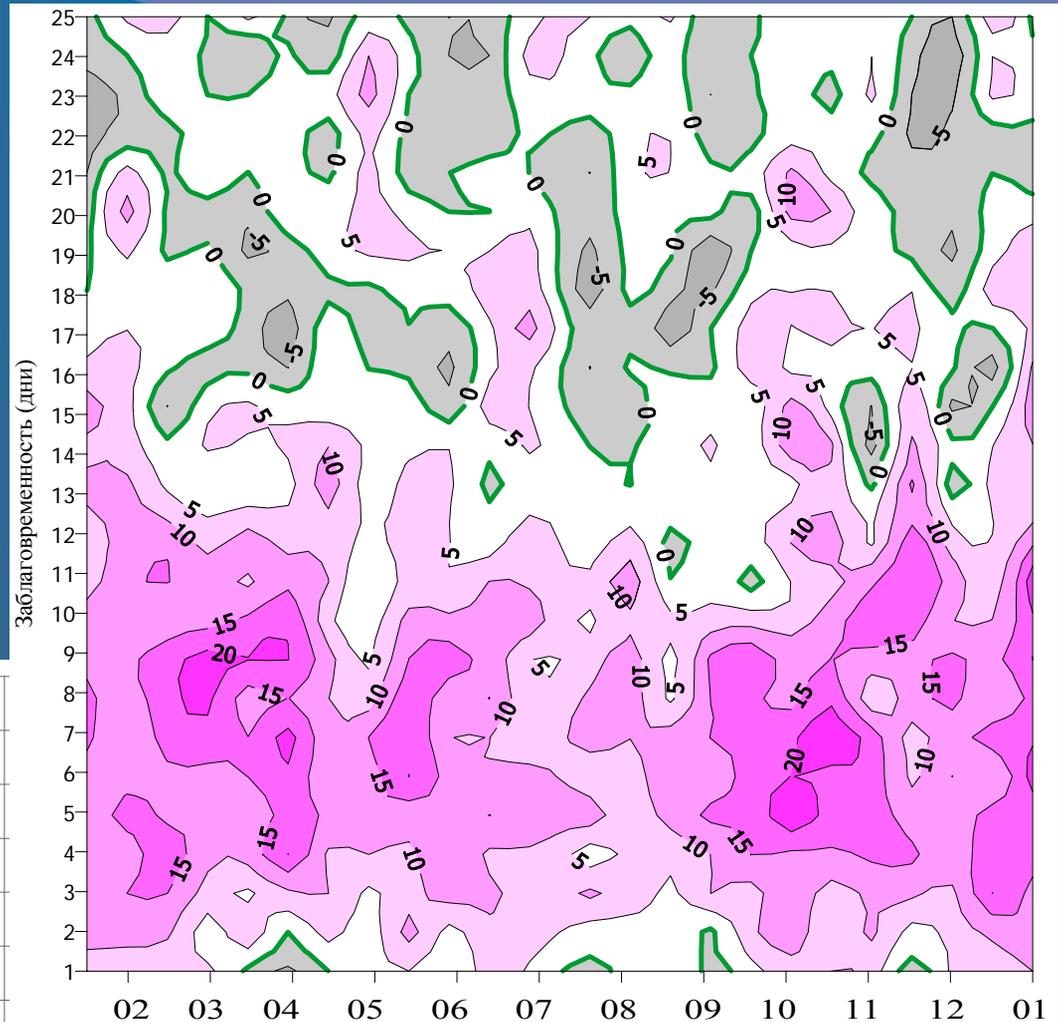
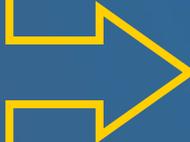
«сырой ансамбль»

с коррекцией смещения

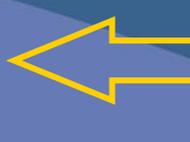


# Корреляция ( $r \cdot 100$ ) рассеяния ансамбля ( $\sigma$ ) и абсолютных ошибок прогноза в зависимости от заблаговременности ( $T_2m$ )

В СЕЗОННОМ  
ХОДЕ

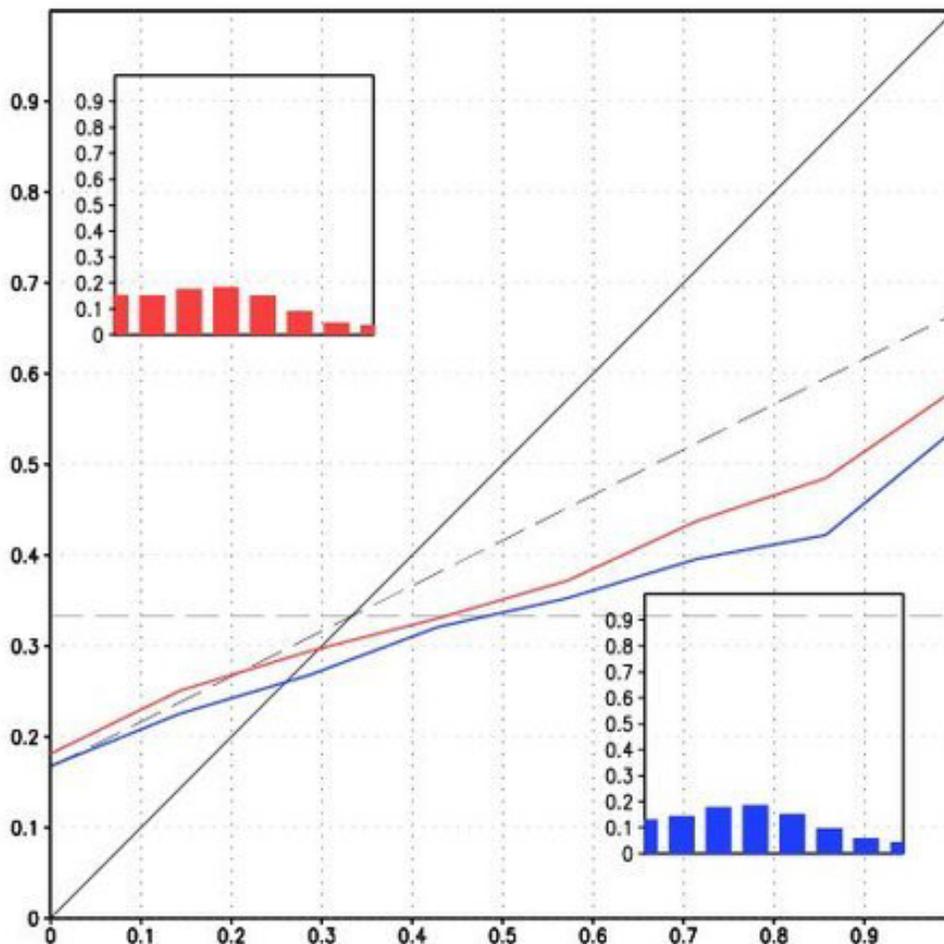


в среднем  
за год



# Диаграмма надежности вероятностных прогнозов сезонных аномалий T-2м на территории России

Наблюдаемые частоты



Прогностические вероятности

# Verification of deterministic forecasts

## 1. Mean error

$$ME = \frac{\sum_i (F_i - O_i) \cdot \cos \varphi_i}{\sum_i \cos \varphi_i}$$

## 4. Anomaly correlation

$$AC = \frac{\sum_i \cos \varphi_i (\Delta F_i - \Delta \bar{F}) \cdot (\Delta O_i - \Delta \bar{O})}{\sqrt{\sum_i \cos \varphi_i (\Delta F_i - \Delta \bar{F})^2 \cdot \sum_i \cos \varphi_i (\Delta O_i - \Delta \bar{O})^2}}$$

## 2. Root mean square error

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i \cos \varphi_i (F_i - O_i)^2}{\sum_i \cos \varphi_i}}$$

## 5. Two categorical statistic ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}$$

## 3. Root Mean Squared Skill Score

$$RMSSS_{cl} = \left(1 - \frac{RMSE_m}{RMSE_{cl}}\right)$$

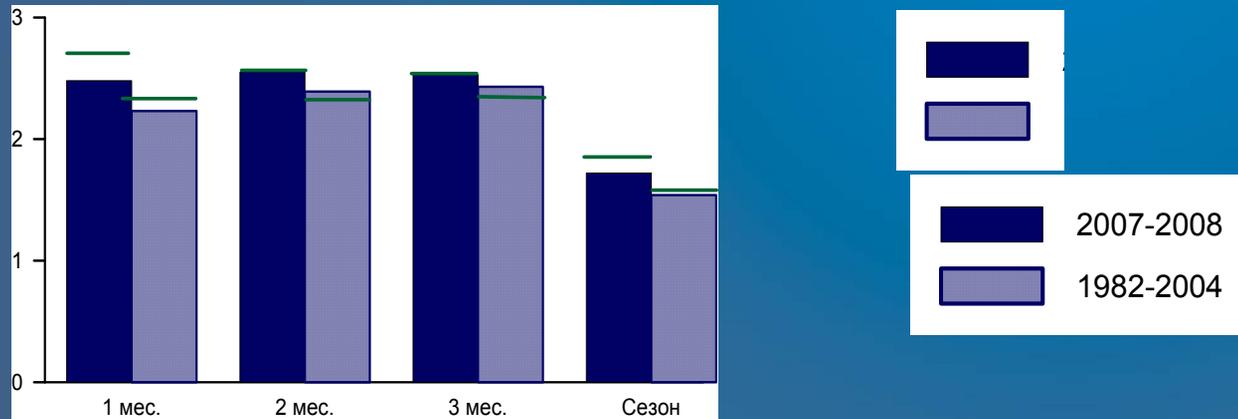
## 6. Relative error

$$Q = \frac{1}{n_i} \sum_i \frac{(F - O)^2_i}{\sigma^2_i}$$

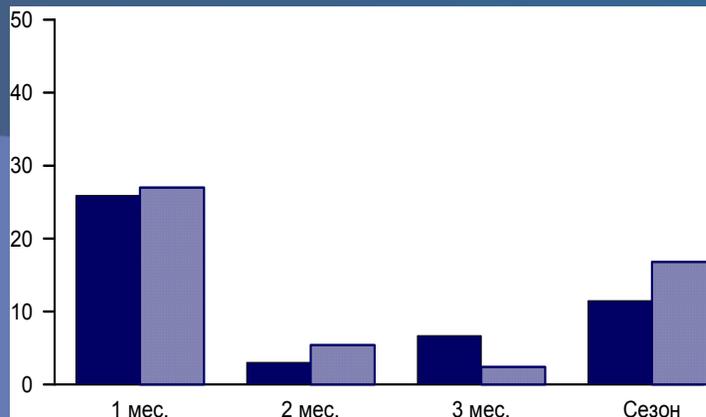
$F$  – forecasts,  $O$  – observations

# Сравнение оперативных и исторических прогнозов T-2м на территории России

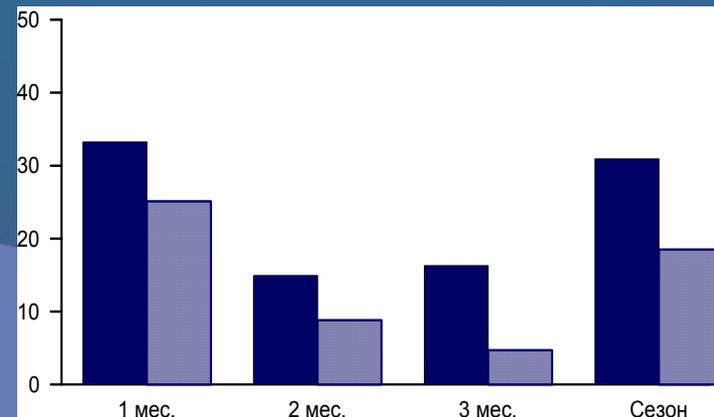
## RMSE



## AC\*100



## RO\*100

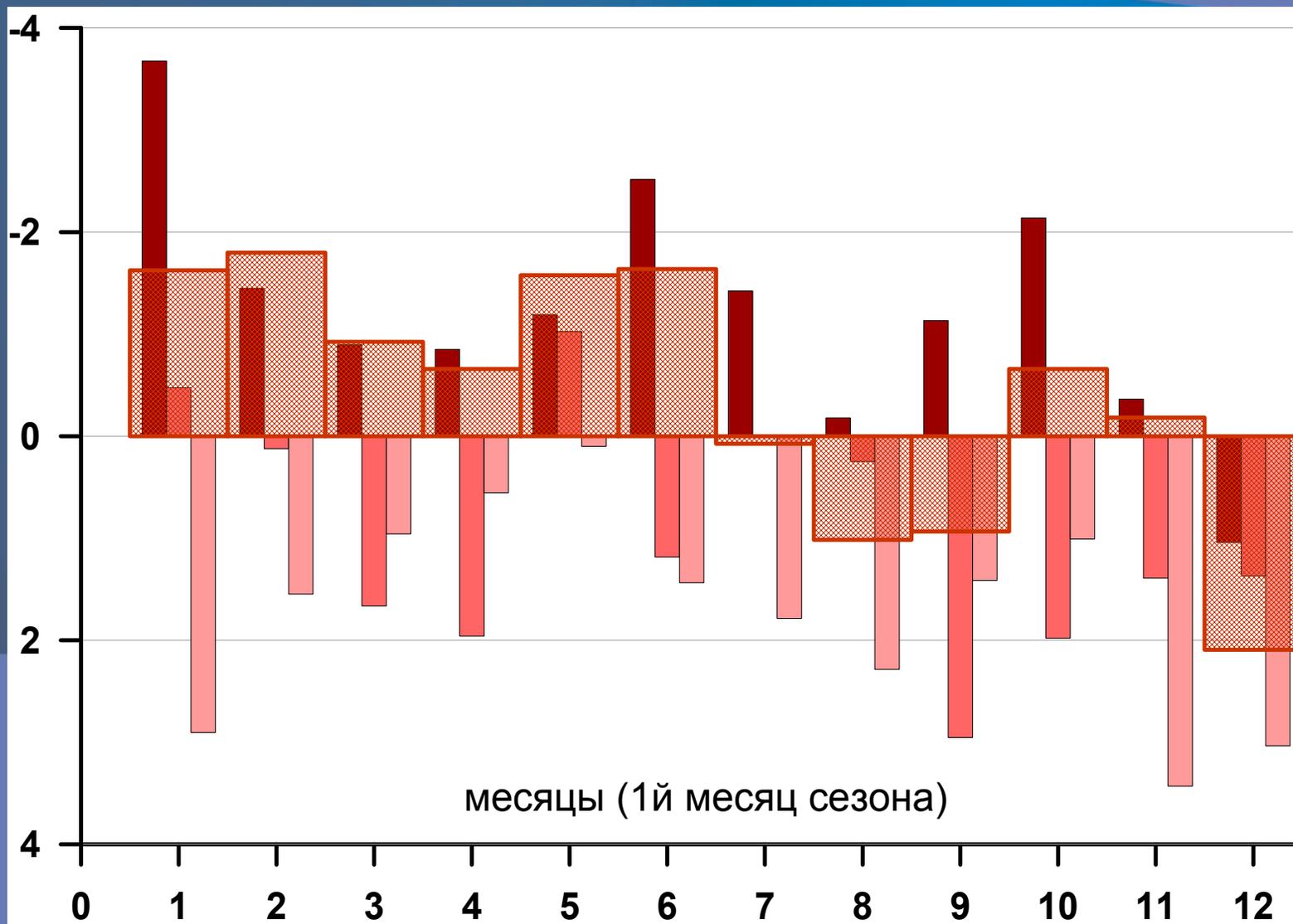


# Оценки MSSS исторических сезонных прогнозов ГГО аномалий T2м

Период прогноза	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Все прогнозы
	I-III	II-IV	III-V	IV-VI	V-VII	VI-VIII	VII-IX	VIII-X	IX-XI	X-XII	XI-I	XII-II	
<b>Тропики</b>													
1 мес.	28.1	35.3	30.4	29.6	28.9	24.9	16.9	21.2	25.7	26.2	24.2	20.8	30.5
Сезон	16.2	24.0	15.8	17.6	13.0	-3.0	-12.1	2.4	13.2	10.5	6.4	11.1	15.7
<b>Северные экстра-тропики</b>													
1 мес.	24.6	11.6	26.2	19.5	21.3	18.1	9.6	19.8	19.6	10.7	21.9	7/0	21.4
Сезон	8.7	4.9	19.7	10.3	4.7	-16.0	-17.0	-5.3	-7.5	-8.1	-8.9	-12.8	1.9
<b>Россия</b>													
1 мес.	37.7	25.2	12.8	4.3	15.5	21.0	13.1	-4.6	23.0	35.8	6.0	-20.1	18.1
Сезон	23.3	17.5	12.4	5.4	16.3	6.7	-6.4	-22.6	-17.8	11.8	-0.3	-29.9	11.1

# T-статистика для разностей RMSE-RMSEcl

## T-2м, Россия



# АС\*100, Т2м (Россия)

