



**Система верификации  
долгосрочных ансамблевых прогнозов  
в Росгидромете**

**The verification system of long-range ensemble meteorological forecasts  
in Roshydromet**

*В.А. Тищенко (Гидрометцентр России)  
V. Tishchenko (Hydrometcentre of Russia)*

## Виды долгосрочных метеорологических прогнозов, выпускаемых в Росгидромете\*

- ✓ Прогнозы температуры и осадков на месяц с месячной и нулевой заблаговременностью (в аномалиях)
  
- ✓ Комплексный прогноз на отопительный и вегетационный периоды (в категориях с указанием вероятностей)
  
- ✓ Долгосрочные прогнозы на месяц-сезон (заблаговременностью до 4-х месяцев ), выпускаемые в СЕАКЦ
  - Для составления используются модели*
  - Гидрометцентра России и ИВМ (ПЛАВ)*
  - ГГО им. А.И. Воейкова*
  
- ✓ **Детерминистские прогнозы ( в аномалиях и в категориях)**
- ✓ **Вероятностные прогнозы (вероятность попадания в категорию)**

\* При непосредственном участии Гидрометцентра России

# Вероятностные прогнозы

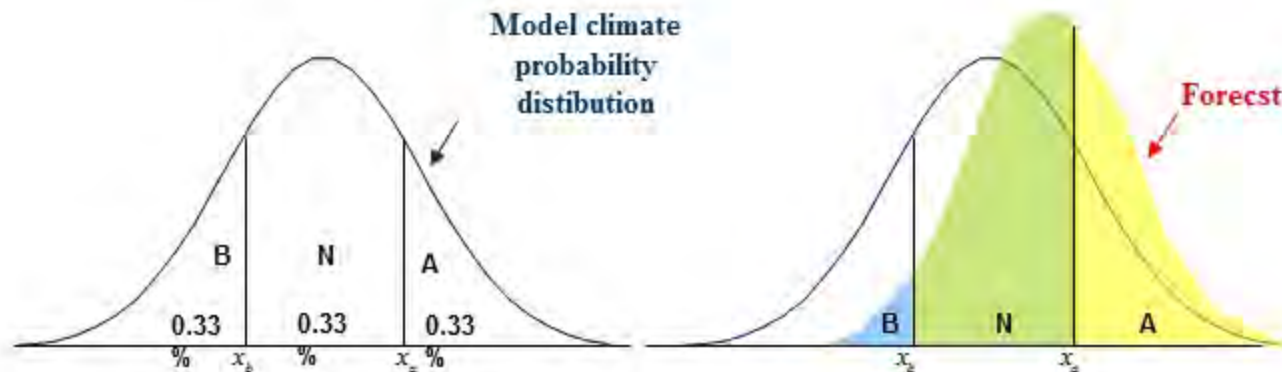
Прогностические вероятности Ниже нормы - Below normal (B),  
Около нормы - Near Normal (N), Выше нормы - Above Normal (A):

$$P(B) = \text{prob}[x \leq x_b] = \int_{-\infty}^{x_b} f(x) dx$$

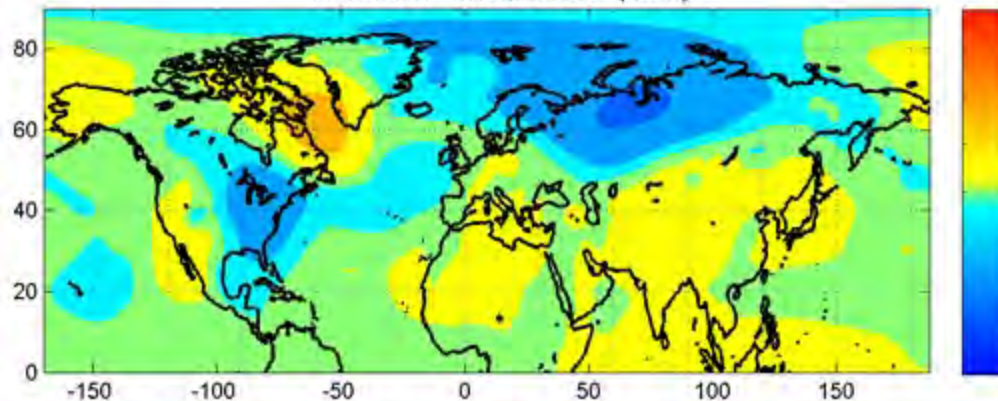
$$P(N) = \text{prob}[x_b < x \leq x_a] = \int_{-\infty}^{x_a} f(x) dx - P(B)$$

$$P(A) = \text{prob}[x_a < x] = 1 - P(B) - P(N),$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{- Probability Density Normal Distribution Function:}$$



FORECAST ANOMALIES (HMC)



Прогностические и фактические данные

- в узлах географической сетки
- станционные данные

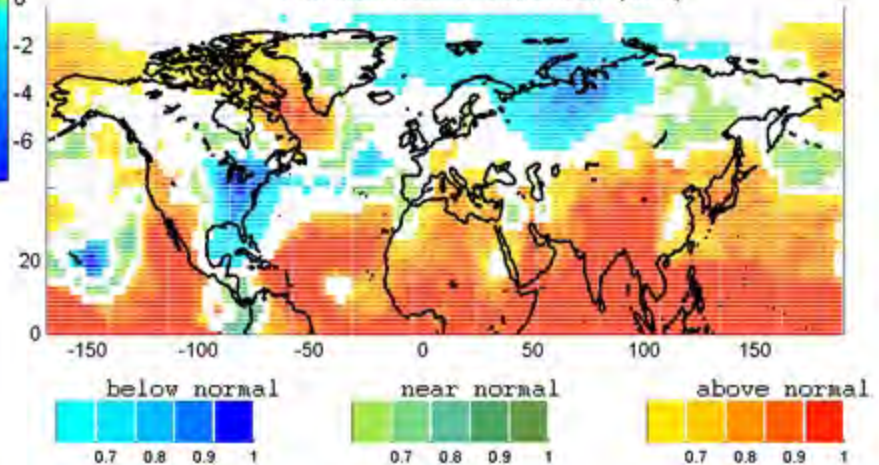
Верификация исторических прогнозов

- в узлах сетки и на станциях
- по районам

Оценка качества оперативных прогнозов

- по районам

PROBABILISTIC FORECAST (HMC)



Начальными данными на изобарических поверхностях для модели ПЛАВ являются поля реанализа NCEP/DOE.

Верификация также выполнялась по отношению к полям реанализа NCEP/DOE за соответствующий период.

Для верификации модельных прогнозов и вычисления модельного климата проведены расчеты на историческом материале за период 1981-2010 гг.

## Стандартизованная система верификации для долгосрочных прогнозов *Детерминистские прогнозы*

- ✓  $\rho$  - коэффициент (показатель) совпадения по знаку аномалии
- ✓ ACC - коэффициент корреляции аномалий
- ✓ RMSE - средне-квадратическая ошибка

$$ACC_{f_{ij}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_j)(x_{ij} - \bar{x}_j)}{s_{f_j} s_{x_j}}$$

- ✓ Критерий качества по среднему квадрату ошибки (MSSS, mean square error skill score)  $MSSS_j = 1 - \frac{MSE_j}{MSE_{cj}}$

где  $MSE_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - x_{ij})^2$  среднеквадратичное отклонение (СКО) прогнозов

$$MSE_{cj} = \frac{n-1}{n} s_{x_j}^2 \quad \text{СКО прогнозов «климатологии»}$$

$$MSSS = 1 - \frac{\sum_j w_j MSE_j}{\sum_j w_j MSE_{cj}}$$

рассчитывается для больших районов

$$RMSSS = 1 - (1 - MSSS)^{1/2}$$

# Верификация долгосрочных прогнозов *Детерминистские прогнозы*

Таблица сопряженности для 3-х градаций

		observed			
		Below normal	Near normal	Above normal	
forecasted	Below normal	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{13}$	$n_{1\bullet}$
	Near normal	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{23}$	$n_{2\bullet}$
	Above normal	$n_{31}$	$n_{32}$	$n_{33}$	$n_{3\bullet}$
		$n_{\bullet 1}$	$n_{\bullet 2}$	$n_{\bullet 3}$	$T$

$$P(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 s_{ij} \cdot n_{ij}$$

Например для прогноза осадков

S=

100	50	0
25	100	25
0	50	0

## Верификация долгосрочных прогнозов Детерминистские прогнозы

- ✓ Сравнительная оперативная характеристика для детерминистских прогнозов (Relative operating characteristics ROC)

Таблица сопряженности для прогностических и фактических градаций

		наблюдения		
		YES	NO	
прогнозы	YES	$O_1$	$NO_1$	$O_1 + NO_1$
	NO	$O_2$	$NO_2$	$O_2 + NO_2$
		$O_1 + O_2$	$NO_1 + NO_2$	$T$

$$HR = \frac{O_1}{O_1 + O_2} \quad \text{Detection frequency (коэффициент совпадений)}$$

$$FAR = \frac{NO_1}{NO_1 + NO_2} \quad \text{False alarm frequency (коэффициент ложных тревог)}$$

$$KS = HR - FAR = \frac{O_1 NO_2 - O_2 NO_1}{(O_1 + O_2)(NO_1 + NO_2)} \quad (-1 \dots +1)$$

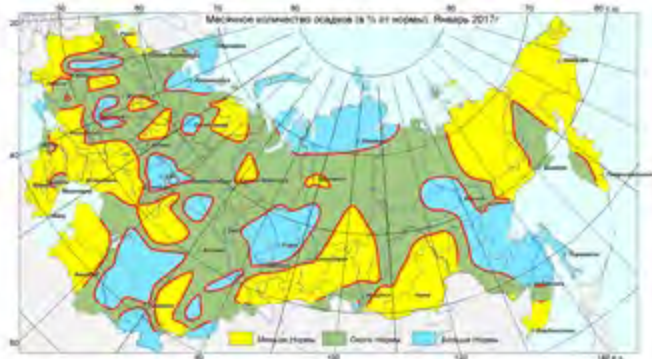
$$KS_{scaled} = \frac{KS + 1}{2} \quad (0 \dots +1) \quad \text{(показатель Ханссена и Кипера)}$$

**Пример  
оценки оперативного  
детерминистского  
прогноза  
(Официальный  
прогноз на месяц)**

Прогноз аномалии средней месячной температуры воздуха на январь 2017 г.



Прогноз месячной суммы осадков (в % от нормы) на январь 2017г.



**Оправдываемость прогноза  
температуры и осадков**

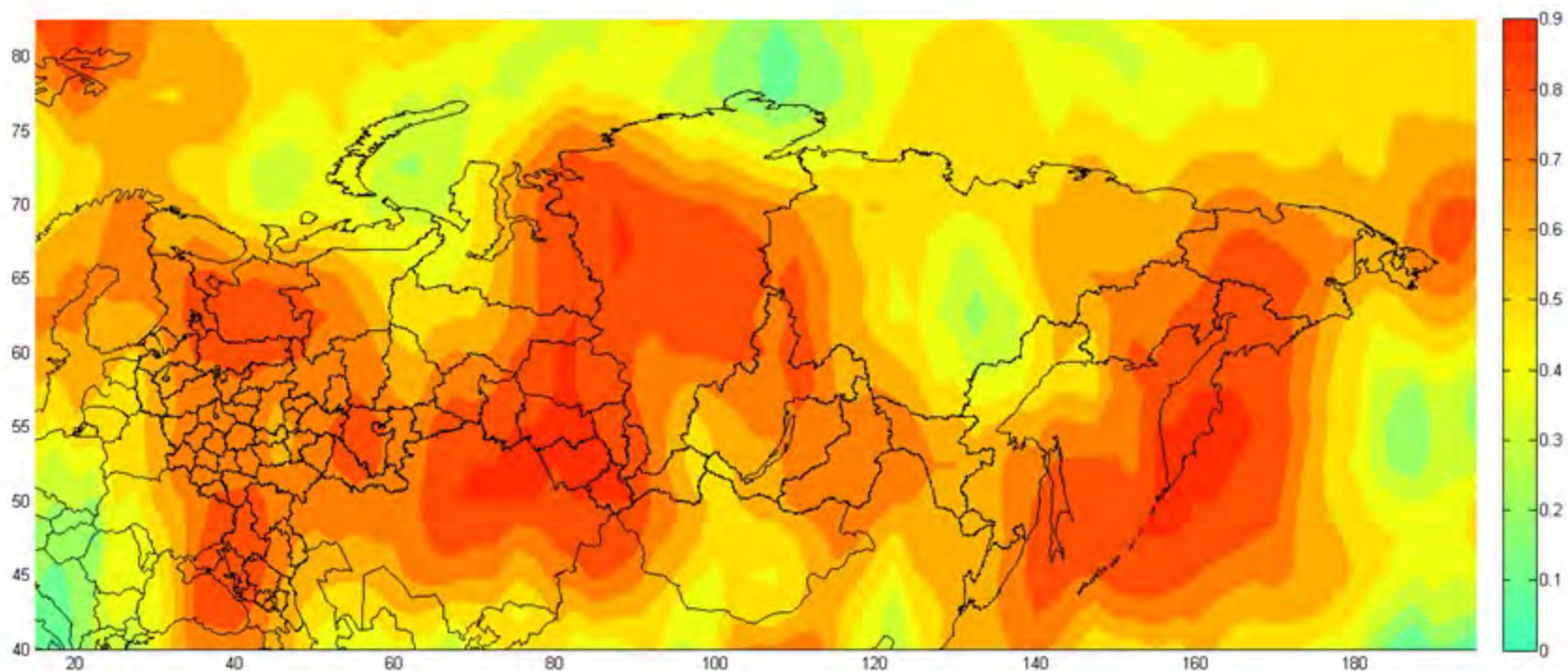
Федеральные округа	Оценка тем-ры (по ρ)	Оценка температуры в %	Оценка осадков в %
Северо-Западный	0.82	91	77
Центральный	1.00	100	68
Приволжский	0.69	85	73
Южный	0.71	86	57
Сев.-Кавказский	0.67	84	58
Уральский	0.33	67	78
Сибирский	0.74	87	59
Дальневосточный	0.71	86	48
Е ТР	0.80	90	69
Россия	0.73	87	62



*Пример оценки исторических детерминистских прогнозов  
по модели ПЛАВ (ряд 1981-2010 г.г.)*

*Прогноз на первый месяц сезона ИИАС. Оценка*

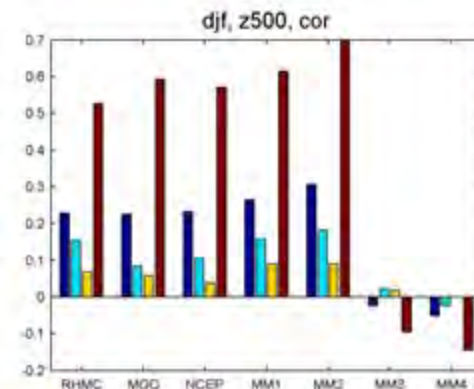
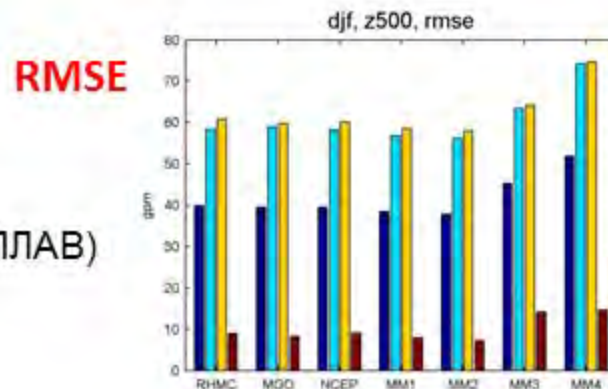
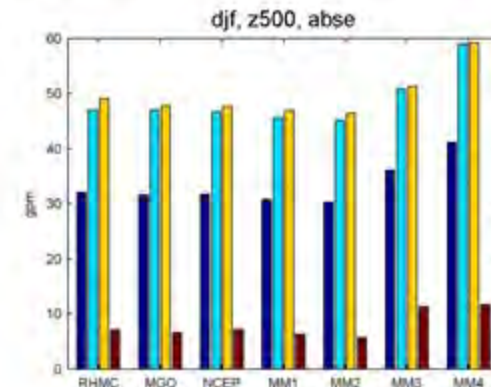
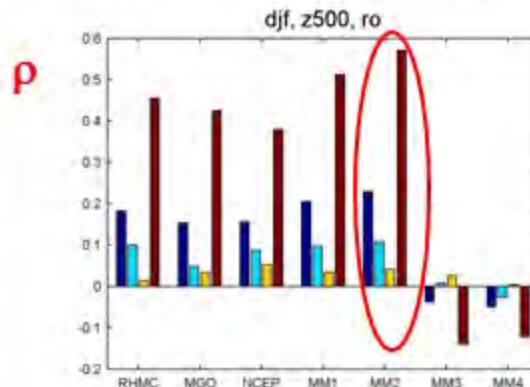
$$KS_{scaled} = \frac{KS + 1}{2}$$



## Преимущество мультимодельного прогноза

Средние оценки качества прогнозов полей геопотенциала H500 по зимним сезонным прогнозам.

Наилучшее качество у мультимодельного прогноза (среднее без весовых коэффициентов)



- RHMC – Гидрометцентр (ПЛАВ)
- MGO – модель ГГО
- NCEP – модель CFS2
- MM1 – среднее с весами
- MM2 – среднее без весов
- MM3, MM4 – регрессионные схемы



внетропическая часть СП

Северная Евразия

тропики

## Стандартизованная система верификации для долгосрочных прогнозов Вероятностные прогнозы

✓ Сравнительная оперативная характеристика для вероятностных прогнозов  
(Relative operating characteristics ROC)

Таблица сопряженности признаков для вероятностных прогнозов  
бинарных событий

<i>N class</i>	<i>Спрогнозированные вероятности</i>	<i>Наблюдавшееся наличие</i>	<i>Наблюдавшееся отсутствие</i>
1	$0 - P_2$ (%)	$O_1$	$NO_1$
2	$P_2 - P_3$ (%)	$O_2$	$NO_2$
...	...	...	...
<i>n</i>	$P_n - P_{n+1}$ (%)	$O_n$	$NO_n$
...	...	...	...
<i>N</i>	$P_N - 100$ (%)	$O_N$	$NO_N$

$$HR_n = \left( \sum_{i=n}^N O_i \right) / \left( \sum_{i=1}^N O_i \right)$$

( $O$ ) равно 1, когда наблюдается наличие события, соответствующего прогнозу в классе  $n$ ; в ином случае равно 0.

$$FAR_n = \left( \sum_{i=n}^N NO_i \right) / \left( \sum_{i=1}^N NO_i \right)$$

( $NO$ ) равно 1, когда событие, соответствующее прогнозу в классе  $n$ , не наблюдается

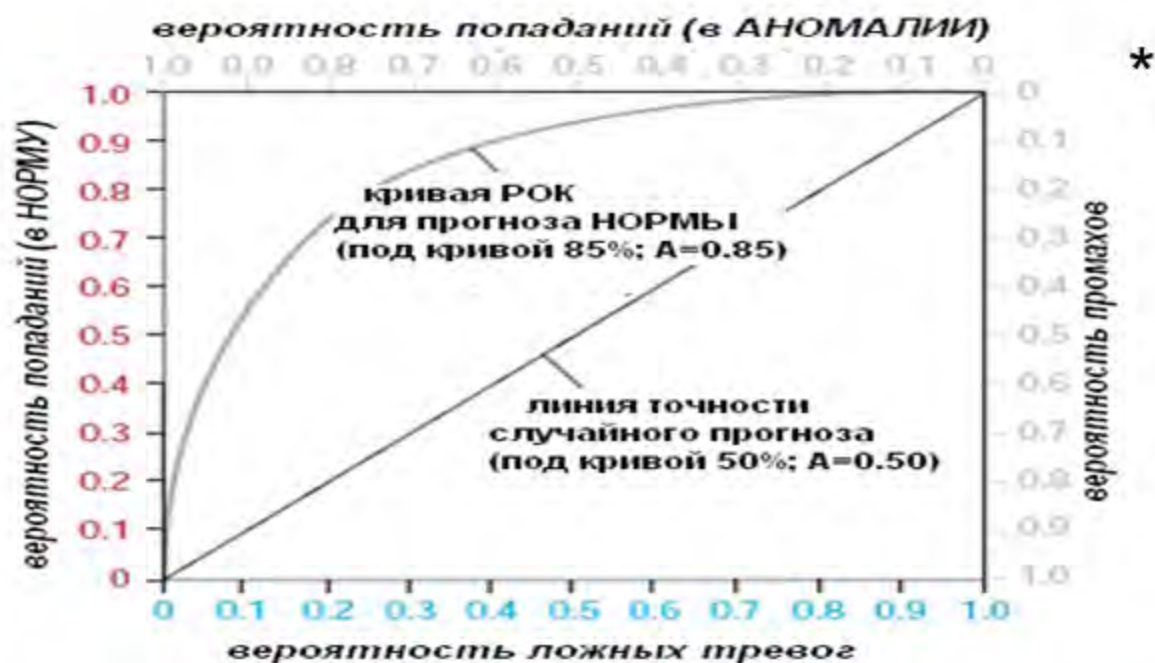
## Верификация долгосрочных прогнозов *Вероятностные прогнозы*

### ✓ Сравнительная оперативная характеристика для вероятностных прогнозов ROC

ROC\_A - сравнительная оперативная характеристика (выше нормы)

ROC\_N - сравнительная оперативная характеристика (норма)

ROC\_B - сравнительная оперативная характеристика (ниже нормы)



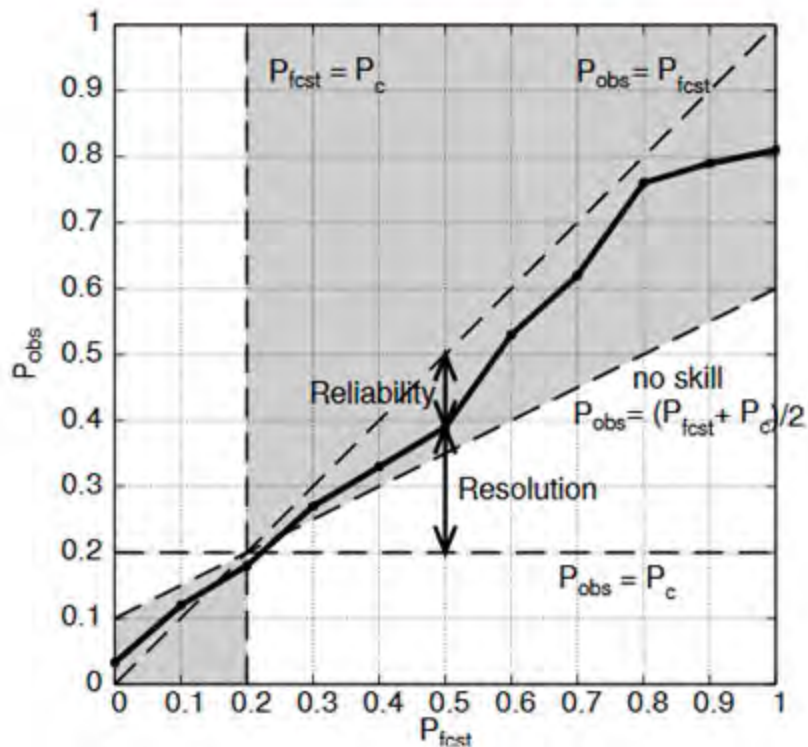
Кривая относительной оперативной характеристики. По осям выделены значения долей, относительно которых можно построить однозначно кривую характеристики: либо по паре FAR- $\bar{H}$ , либо по паре «доля промахов – доля верных попаданий в аномалии».

\* А.В.Муравьев, И.А.Куликова

✓ **Диаграмма достоверности (Reliability Diagram)**

Относительная частота наблюдаемых явлений

$$HR_n = \frac{O_n}{O_n + NO_n}$$



прогностическая вероятность

$$FAR_n = \frac{NO_n}{O_n + NO_n}$$

# Карты показателя ROCS\_A, агрегированного за 30 лет (ноябрь-февраль)

T2m

ROCS A T2m month 1

1-й месяц

ROCS A PREC month 1

Prec

ROCS A T2m months 1-3

Сезон

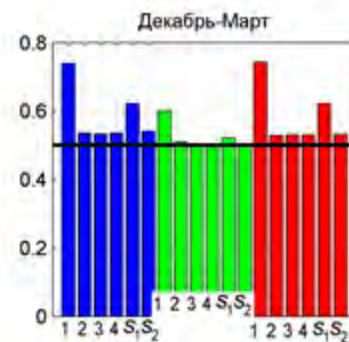
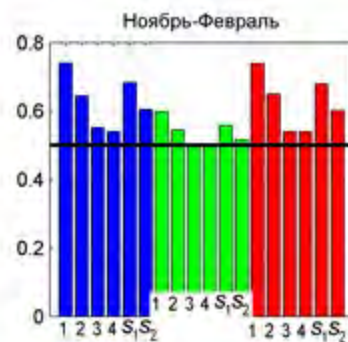
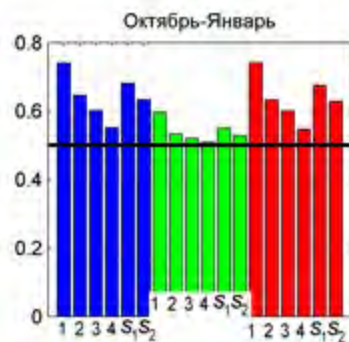
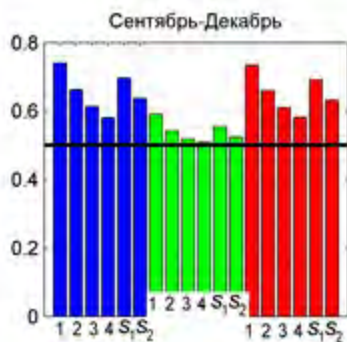
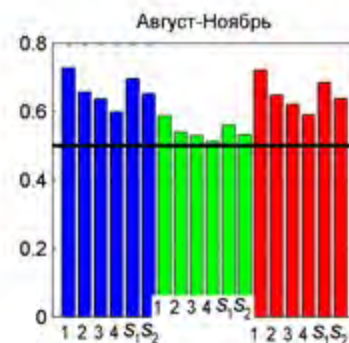
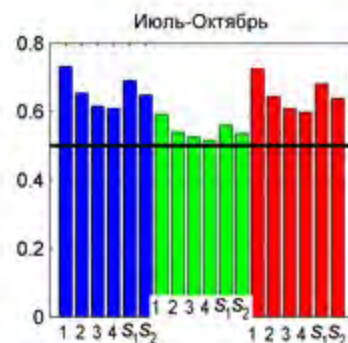
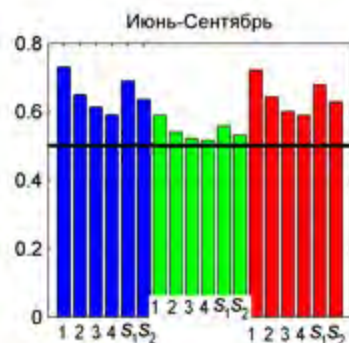
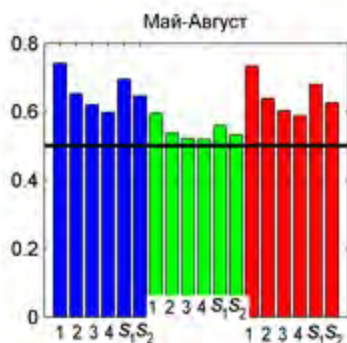
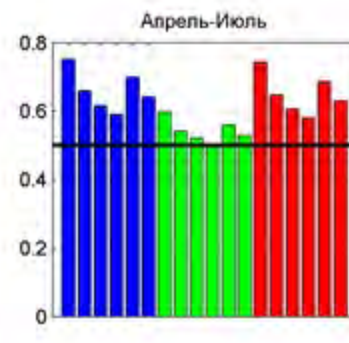
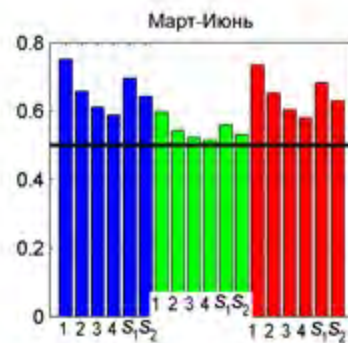
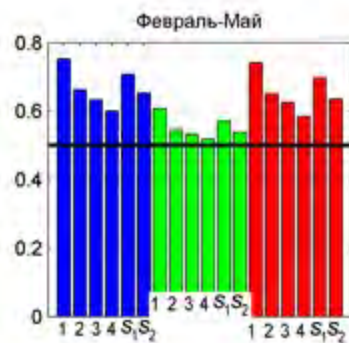
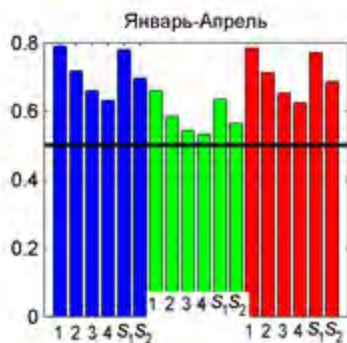
ROCS A PREC months 1-3

# Средние оценки прогнозов T2t для каждого сезона (ПЛАВ)

ROCS\_B

ROCS\_N

ROCS\_A



# Оценки качества оперативных прогнозов

## Оценки успешности сезонных прогнозов

Дата: 2014-12-01    Регион: Северная Евразия    Метеоэлемент: T2m    [Загрузить](#)

Метеоэлемент: T2m  
 Регион: Северная Евразия (35N - 75N, 20E - 180E)  
 Исходная дата прогноза: 2014-12-01

Модель	Характеристики успешности прогнозов						карта аномалий
	ROC_A	ROC_N	ROC_B	RO	ACC	RMSE	
Декабрь 2014							
ГМЦ	0.78	0.57	0.68	0.27	0.31	2.26	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.57	0.59	0.45	-0.03	-0.16	2.92	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.65	0.59	0.59	0.1	0.06	2.52	<a href="#">Открыть</a>
Январь 2015							
ГМЦ	0.59	0.6	0.64	0.1	0.16	2.75	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.61	0.5	0.57	0.18	0.15	2.8	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.62	0.55	0.63	0.16	0.19	2.73	<a href="#">Открыть</a>
Февраль 2015							
ГМЦ	0.45	0.48	0.47	-0.45	-0.66	3.8	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.41	0.46	0.56	0.18	0.01	3.22	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.42	0.46	0.49	-0.06	-0.42	3.47	<a href="#">Открыть</a>
Сезон							
ГМЦ	0.64	0.5	0.56	-0.12	-0.21	2.19	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.48	0.52	0.41	0.02	-0.12	2.21	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.55	0.52	0.46	-0.11	-0.19	2.15	<a href="#">Открыть</a>

Оценки качества прогнозов

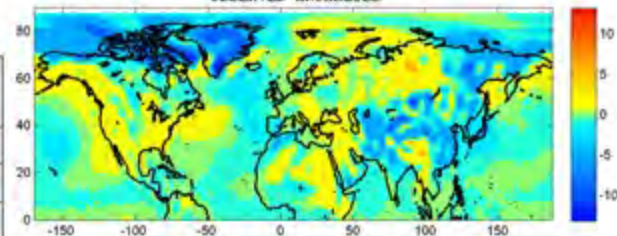
ROC\_A - сравнительная оперативная характеристика (выше нормы)

ROC\_N - сравнительная оперативная характеристика (норма)

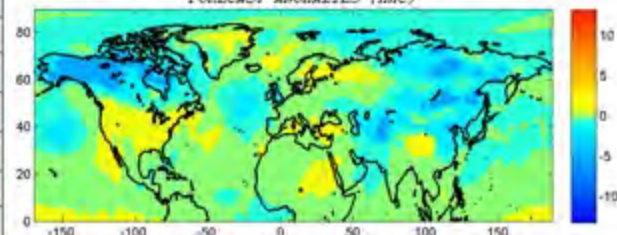
ROC\_B - сравнительная оперативная характеристика (ниже нормы)

---

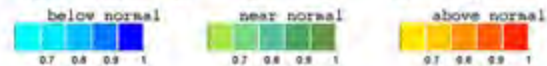
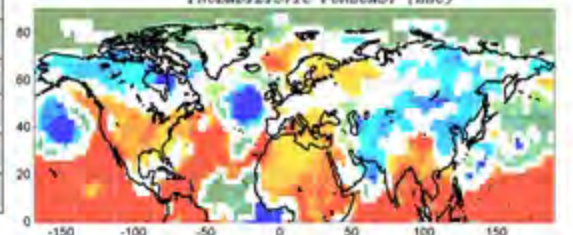
ANOMALIES 1.2m (deg) DJF 2014 Month 1  
OBSERVED ANOMALIES



FORECAST ANOMALIES (HNC)



PROBABILISTIC FORECAST (HNC)



На сайте СЕАКЦ представлены оценки качества прогнозов на сезон по моделям Гидрометцентра, ГГО и осредненных прогнозов (ГМЦ+ГГО)





*Спасибо за внимание*

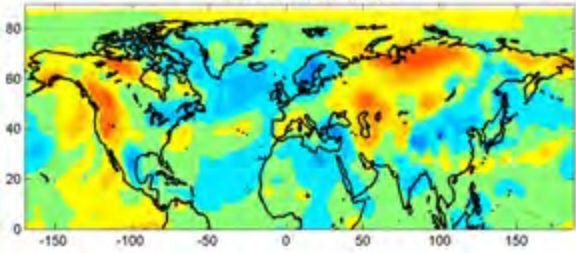
*Спасибо за внимание*

# T2m. Прогноз и факт. Лето 2015 года

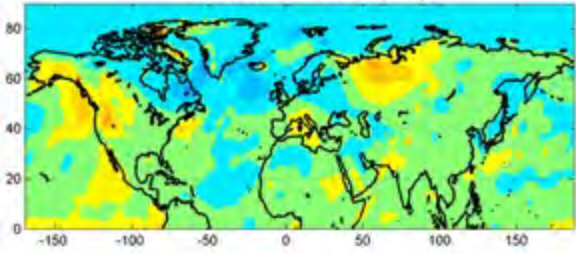
Фактические аномалии

ИЮНЬ

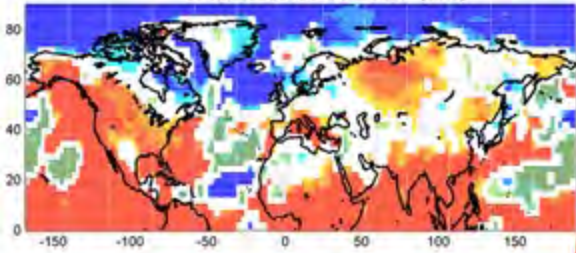
ANOMALIES t2m (deg) JJA 2015. Month 1  
OBSERVED ANOMALIES



FORECAST ANOMALIES (HNC)

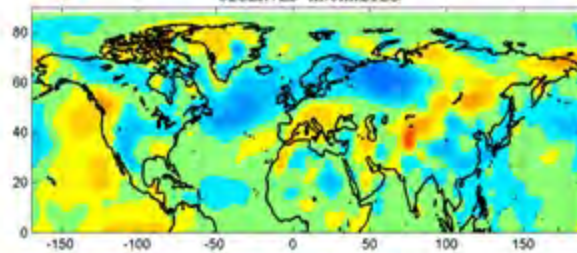


PROBABILISTIC FORECAST (HNC)

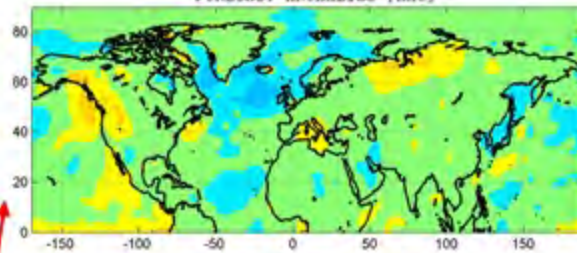


ИЮЛЬ

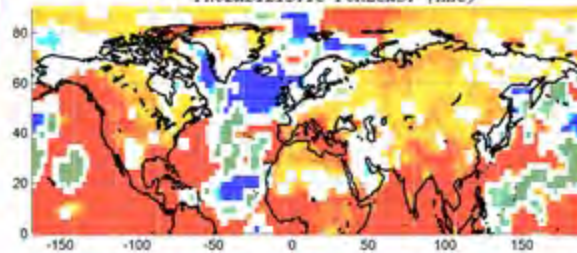
ANOMALIES t2m (deg) JJA 2015. Month 2  
OBSERVED ANOMALIES



FORECAST ANOMALIES (HNC)

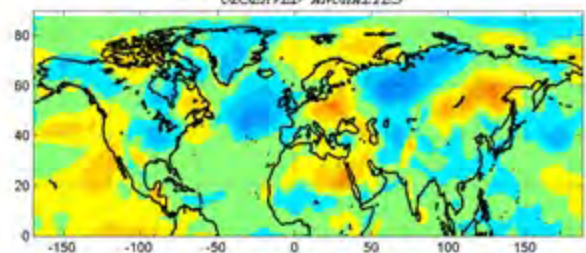


PROBABILISTIC FORECAST (HNC)

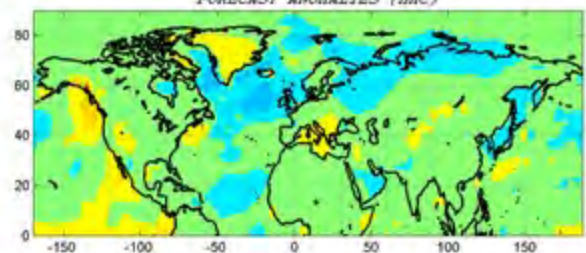


август

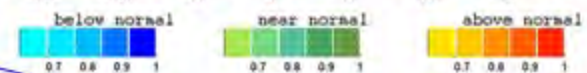
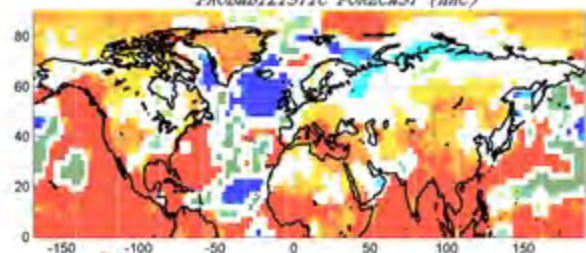
ANOMALIES t2m (deg) JJA 2015. Month 3  
OBSERVED ANOMALIES



FORECAST ANOMALIES (HNC)



PROBABILISTIC FORECAST (HNC)



Прогностические аномалии

Прогностические вероятности

# Оценки успешности сезонных прогнозов

Дата: 2015-06-01 | Регион: Северная Евразия | Метеозлемент: T2m | [Загрузить](#)

Метеозлемент: T2m

Регион: Северная Евразия (35N - 75N; 20E - 180E)

Исходная дата прогноза: 2015-06-01

Модель	Характеристики успешности прогнозов						Карта аномалий
	ROC_A	ROC_N	ROC_B	RO	ACC	RMSE	
Июнь 2015							
ГМЦ	0.59	0.53	0.48	0.14	0.5	1.62	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.71	0.61	0.63	0.34	0.63	1.5	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.7	0.6	0.59	0.3	0.66	1.5	<a href="#">Открыть</a>
Июль 2015							
ГМЦ	0.61	0.52	0.55	0.3	0.21	1.6	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.52	0.45	0.59	0.3	0.4	1.46	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.58	0.49	0.61	0.31	0.35	1.49	<a href="#">Открыть</a>
Август 2015							
ГМЦ	0.59	0.54	0.57	0.22	0.35	1.39	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.49	0.41	0.6	0.17	0.18	1.48	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.54	0.47	0.6	0.31	0.33	1.4	<a href="#">Открыть</a>
Сезон							
ГМЦ	0.52	0.57	0.46	0.34	0.36	1.09	<a href="#">Открыть</a>
ГГО	0.55	0.52	0.46	0.28	0.42	1.05	<a href="#">Открыть</a>
ГМЦ+ГГО	0.54	0.58	0.46	0.43	0.46	1.03	<a href="#">Открыть</a>

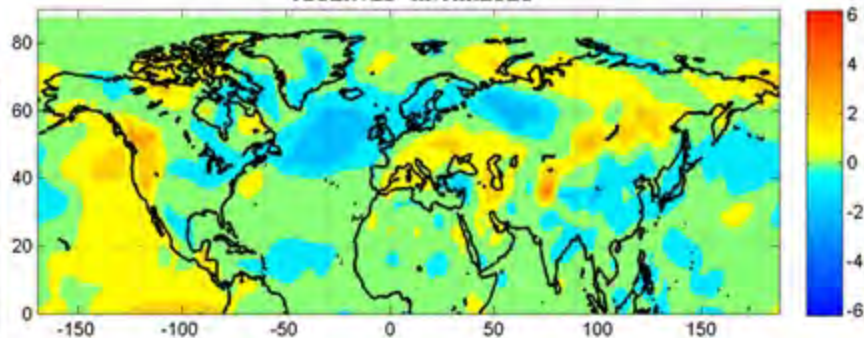
Оценки качества прогнозов:

ROC\_A - сравнительная оперативная характеристика (выше нормы)

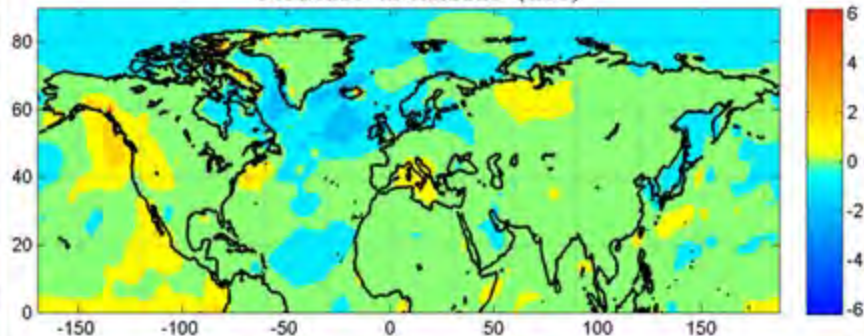
ROC\_N - сравнительная оперативная характеристика (норма)

ROC\_B - сравнительная оперативная характеристика (ниже нормы)

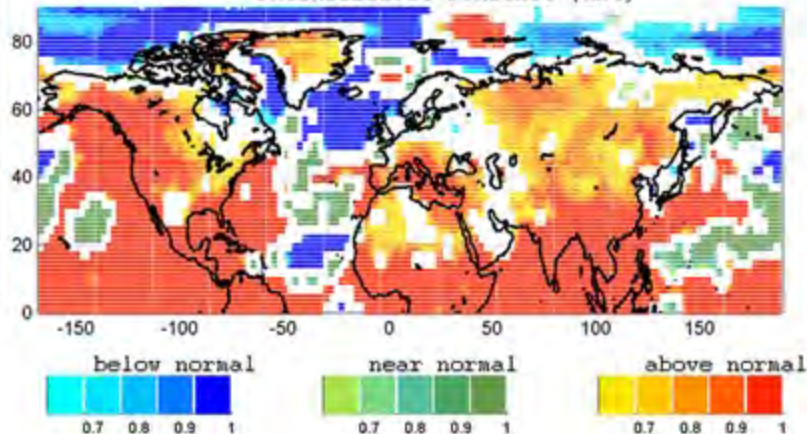
ANOMALIES t2m (deg). JJA 2015. Season  
OBSERVED ANOMALIES



FORECAST ANOMALIES (HMC)



PROBABILISTIC FORECAST (HMC)



## Статистическая коррекция детерминистских прогнозов температуры воздуха и осадков на 1-4 месяца по модели ПЛАВ

Скорректированные прогнозы будут использоваться для детализации (даунскейлинга) численных прогнозов с целью воспроизведения пространственно-временных изменений температуры и осадков.

Значения температуры и осадков в узлах сетки восстанавливаются по прогностическим полям  $H500$ ,  $T850$ ,  $SLP$ , а также по самим значениям температуры и осадков. Для отбора оптимальных предикторов в схеме прогноза использован регрессионный метод со скользящим окном. Полученные оценки скорректированных ретроспективных прогнозов по модели ПЛАВ показали существенное улучшение качества прогнозов на историческом материале.

*Средние  
коэффициенты  
корреляции и  
коэффициенты  $\rho$   
прогнозов  
температуры*

	Без коррекции		С коррекцией	
	ACC	$\rho$	ACC	$\rho$
Ноябрь	0.57	0.42	0.64	0.58
Декабрь	0.29	-0.09	0.47	0.65
Январь	0.15	-0.19	0.48	0.39
Февраль	0.04	-0.12	0.61	0.54
НДЯ	0.51	0.15	0.58	0.63
ДЯФ	0.18	-0.01	0.44	0.47