

**ИССЛЕДОВАНИЕ, АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОПРАВДЫВАЕМОСТИ
ПРОГНОЗОВ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ
МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ**

А. С. Фадеев, Ю.В. Ефимова

*Российский государственный гидрометеорологический университет, г
Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail:
Fadeew2002@gmail.com*

В данной работе будут кратко описаны принципы работы четырех моделей (ICON, GFS, ECMWF, GEM), и приведено сравнение прогнозируемых этими моделями данных о приземной температуре на сутки с фактической температурой в период с 3 марта по 8 апреля над территорией Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: модель; оценка; оправдываемость; прогноз; приземная температура; стандартная ошибка

**RESEARCH, ANALYSIS AND EVALUATION OF THE FEASIBILITY
OF SURFACE TEMPERATURE FORECASTS OF VARIOUS
WEATHER FORECAST MODELS**

A. S. Fadeev, Yu. V. Efimova

*Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russian Fed-
eration, e-mail: Fadeew2002@gmail.com*

In this paper, the principles of operation of four models (ICON, GFS, ECMWF, GEM) will be briefly described, and a comparison of the data predicted by these models on the surface temperature for a day with the actual temperature in the period from March 3 to April 8 over the territory of St. Petersburg is given.

Keywords: Model; estimation; justifiability; forecast; surface temperature; standard error

С целью сравнения прогноза приземной температуры моделями ICON, GFS, ECMWF и GEM, были записаны прогнозируемые на сутки значения приземной температуры, полученные с помощью этих моделей для города Санкт-Петербург на срок 12 часов по местному времени (9 часов по единому). Для записи прогнозируемых температуры использовался сайт Ventusky.

Полученные значения спрогнозированной температуры и фактической температуры, наблюдаемой в данный срок в период с 3 марта по 8 апреля 2023 года представлены в табл. 1 [7, 8].

Таблица 1

Значения прогнозируемой на сутки и фактической наблюдаемой температурой

Число на которое прогнозировалось	03.мар	04.мар	05.мар	06.мар	07.мар	08.мар	09.мар	10.мар	11.мар	12.мар	13.мар	14.мар	15.мар
Модель ICON	-1	-1	-1	-3	-6	-5	-7	-8	-9	-5	-3	4	3
Модель GFS	-1	-1	-2	-3	-6	-4	-6	-6	-7	-6	-2	4	3
Модель ECMWF	-2	-1	-3	-4	-6	-5	-6	-9	-7	-6	-5	6	4
Модель GEM	-1	-1	-2	-3	-7	-4	-7	-7	-8	-5	-3	6	5
Фактическая температура	0	0	1	-2	-5	-4	-6	-5	-5	-5	-2	6	2

16.мар	17.мар	18.мар	19.мар	20.мар	21.мар	22.мар	23.мар	24.мар	25.мар	26.мар	27.мар	28.мар	29.мар	30.мар	31.мар	01.апр	02.апр
0	0	1	2	4	2	0	7	5	5	3	0	1	-1	-2	1	-1	1
0	0	1	2	3	2	3	7	5	3	1	1	0	-1	-3	1	0	1
-1	-2	1	2	4	2	2	6	5	4	2	-1	2	-1	-4	0	-1	0
1	-4	0	2	4	2	1	7	5	4	4	-1	1	0	-5	0	-1	0
1	3	4	5	6	2	1	8	6	6	2	0	2	-1	-1	2	0	2

03.апр	04.апр	05.апр	06.апр
-2	0	3	3
-2	-1	3	3
-2	-1	2	4
-1	0	2	2
-1	1	4	3

Из таблицы, уже можно заметить, что, ни одна из моделей ни давала всегда точно такую же температуру какая наблюдалось на следующий день, при этом модели чаще занижали значения относительно фактической температуры.

Для того чтобы статистически сравнить выше указанные данные и сделать выводы, какая модель прогнозировала лучше приземную температуру в выбранный период воспользуемся различными методами.

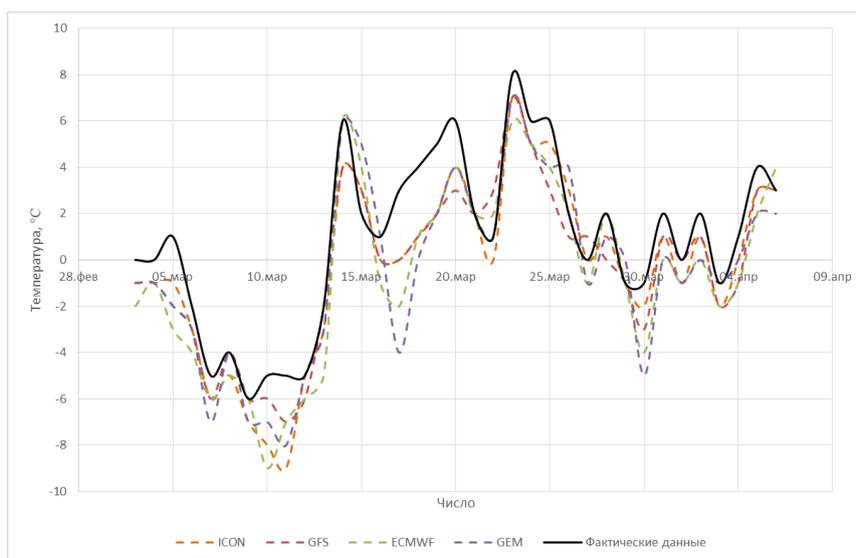


Рис. 1. Ход температур полученных с помощью моделей и ход фактической температуры

Одним из наиболее популярных методов сравнения как в метеорологии, так и в общем в статистике является графический метод. Для сравнения графическим методом построим график хода температур, спрогнозированных моделями и хода фактической температуры, в надежде определить какая из кривых больше близка кривой фактической температуры. Данный график представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что визуально сделать качественные выводы о том какая из кривых ближе к кривой фактической температуры, достаточно проблематично. Однако лишь взглянув на данный график, можно убедиться в выводе, сделанному по табл. 1, действительно по графику четко заметно, что модельные кривые большей своей частью лежат ниже кривой фактической температуры, что говорит о том, что модели чаще занижали значения температуры чем завышали. Кроме того, по данному графику, явно заметно, что два наибольших отклонения кривой модельной температуры от кривой фактической температуры принадлежат модели GEM.

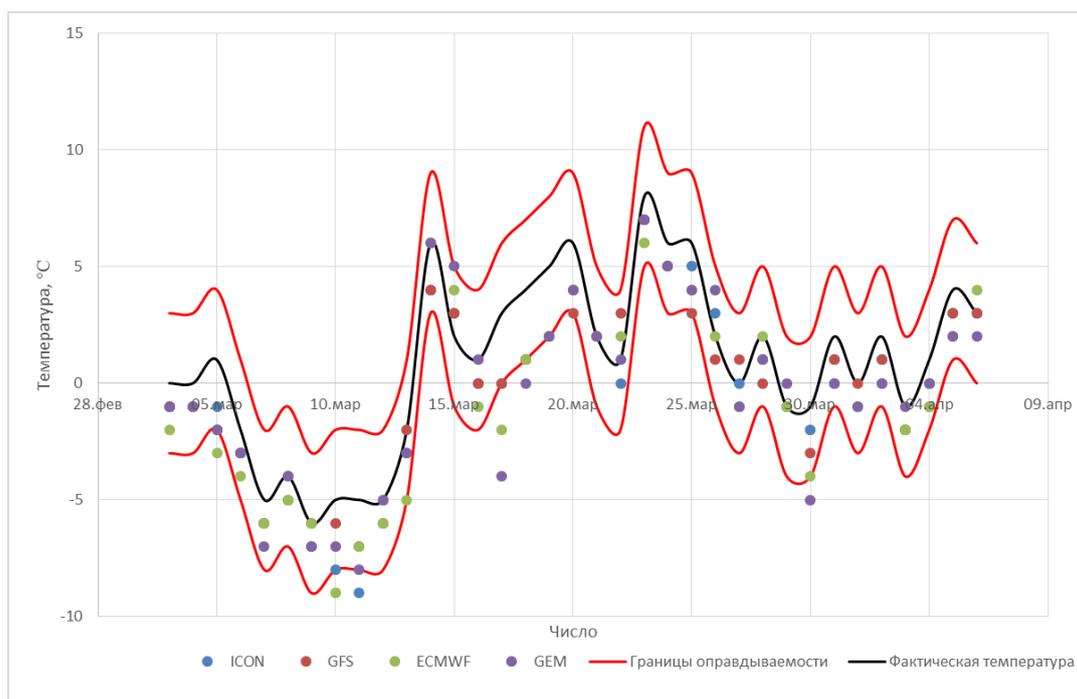


Рис. 2. Оправдываемость прогнозов

Чтобы получить количественную оценку прогноза температуры и узнать какая из кривых ближе к кривой фактической температуры, определим стандартную ошибку каждого из четырех рядов температур, полученных с помощью моделирования, от ряда фактической температуры. При этом значение стандартной ошибки будем характеризовать формулой 1:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (T_{mi} - T_{ri})^2}{n}} \quad (1)$$

где, ε – стандартная ошибка, T_{mi} и T_{ri} – значения температуры полученные с помощью модели и фактические (реальные) значения температуры соответственно, за i -ый день, при этом $i=1, 2, 3 \dots n$, n – размер выборки, в данном случае количество дней выбранного периода.

По формуле (1) были получены следующие значения стандартной ошибки (табл. 2):

Из расчетов видно, что наименьшая стандартная ошибка прогноза, а, следовательно, и наименьшее отклонение от кривой фактической температуры за данный период характерно для модели ICON, при этом значение стандартной ошибки для модели GFS незначительно отлично от наилучшего значения. Наибольшее значение стандартной ошибки, и, следовательно, наибольшее несовпадение с кривой фактической температуры характерно, для моделей ECMWF и GEM.

Значения оправдываемости прогноза

Модель	Стандартная ошибка
Модель ICON	1,567527626
Модель GFS	1,638814903
Модель ECMWF	2,077085871
Модель GEM	2,151411497

Далее, определим оправдываемость прогноза температуры (Р), за каждый день выбранного периода, для каждой модели.

Оправдываемость прогноза температуры производится альтернативно с допуском. Если фактически наблюдаемая температура отличалась от прогнозируемой не более чем на 3°C, оправдываемость прогноза температуры равна 100%. Если же отличие от прогнозируемой было более чем на 3°C, то оправдываемость равна 0%. [9]

На основе данного правила была построена таблица, со значениями оправдываемости для каждого дня, выбранного периода и для каждой модели (табл 2). В конце которой обозначено количество, дней для которых прогноз полученный конкретной моделью не оправдался

Кроме того, для лучшей наглядности рекомендуется построить график аналогичный рис. 2, но с границами оправдываемости, имеющими контур кривой фактической температуры. Данный график изображен на рис. 3.

Из табл. 2 и рис. 2, среди всех дней, низкой оправдываемость прогноза отчетливо выделяется 17 марта, прогнозы двух моделей в этот день не оправдались, а температуры, спрогнозированные двумя другими моделями, находятся на нижней границе оправдываемости. Чтобы разобраться с тем, что повлияло на низкое качество прогноза в тот день, обратимся к высотной карте АТ500 соответствующей дню составления прогноза (16 марта).

Хоть данная карта и не является приземной барической картой, но по ней ясно видно, что Санкт-Петербург находится в зоне между двумя высокими и как следствие малоподвижными барическими образованиями, что говорит о том что, термобарическое поле Санкт-Петербурга в день составления прогноза характеризовалось отсутствием явной синоптической обстановки, а данный фактор как известно отрицательно сказывается на прогнозе погоды, ведь любая модель намного лучше спрогнозирует значение той или иной метеорологической величины, если территория для которой составляется прогноз будет характеризоваться наличием явной синоптической ситуации.

Таблица 3

Значения оправдываемости температуры

Число на которое прогнозировалось	03.мар	04.мар	05.мар	06.мар	07.мар	08.мар	09.мар	10.мар	11.мар	12.мар	13.мар	14.мар	15.мар
Модель ICON	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100
Модель GFS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Модель ECMWF	100	100	0	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100
Модель GEM	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

16.мар	17.мар	18.мар	19.мар	20.мар	21.мар	22.мар	23.мар	24.мар	25.мар	26.мар	27.мар	28.мар	29.мар	30.мар	31.мар	01.апр	02.апр
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100

03.апр	04.апр	05.апр	06.апр	Кол-во дней с P=0
100	100	100	100	1
100	100	100	100	0
100	100	100	100	3
100	100	100	100	3

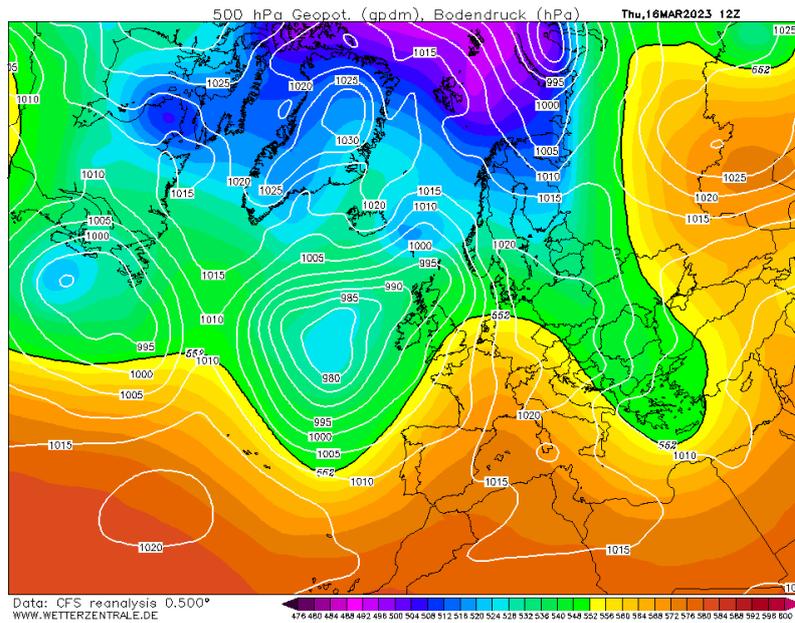


Рис. 3. Высотная карта АТ 500 за 16 марта и срок 12 часов. (сост. по [10])

Возвращаясь к сравнению прогнозов моделей заметим, что из рис. 3, можно увидеть, что на графике нету ни одной точки лежащей выше верхней границы оправдываемости, то есть, ни у одной модели не было завышенного прогноза температуры, который бы не оправдался.

Из табл. 2 и рис. 3 можно, сделать вывод, что у всех моделей для большинства дней, прогноз оправдывается, однако дней, для которых прогноз не оправдался больше всего у моделей ECMWF и GEM, а у модели GFS таких дней вообще не было.

Исходя из всего выше написанного можно сделать вывод, что модели GFS и ICON лучше подходят для прогноза приземной температуры на сутки, чем модели GEM и ICON.

Из всего вышенаписанного можно сделать вывод, что для прогноза температуры на сутки лучше всего использовать модели ICON и GFS, а для прогноза на трое лучше всего модели GFS и GEM, однако в последнем случае оправдываемость прогнозов будет низкая, так как сделать правильный прогноз на трое суток сделать достаточно проблематично, это в свою очередь связано с тем, что в основном барические образования не существуют так долго, если только они не являются блокирующими.

Библиографические ссылки

1. Репинская Р.П., Анискина О.Г.. Конечно-разностные методы в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов. Гидрометеиздат 2002

2. Зенгл Г., Рейнерт Д., Риподас П., Балдауф М.: Структура моделирования ICON (ICOshed Non - hydrostatic) DWD и MPI - M: Описание негидростатического динамического ядра. В: Ежеквартальный журнал Королевского метеорологического общества.
3. <https://progearthplanetsci.springeropen.com/articles/10.1186/s40645-014-0018-1>
4. <https://windy.app/blog/what-is-icon-weather-model-forecast.html>
5. Аль Хемяри Салах Аддин Галед Ахмед. Сравнительные исследования моделей WRF и GFS для прогноза осадков в Йемене. Стр 88, 89.
6. <https://betext.ru/articles/putevoditel-po-osnovnym-modelyam-pogody-v-mire/>
7. <https://www.ventusky.com>
8. https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Санкт-Петербурге
9. С.Н.Лапина Классификация метеорологических прогнозов, их оправдываемость и оценка экономической полезности. Стр 4.
10. <https://www.wetterzentrale.de>