

# ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

УДК 519.254

А.А. Голованов<sup>1</sup>, Е.Н. Пелиновский<sup>1-3</sup>

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ПРОГНОЗА ЭКСТРЕМУМОВ ТЕМПЕРАТУР В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>,  
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород<sup>3</sup>

В настоящее время существует множество метеорологических организаций, публикующих прогнозы погоды, зачастую не совпадающие между собой. В силу значимости данных прогнозов для многих отраслей экономики, большую роль играет оценка степени оправдываемости прогноза одной из важнейших метеорологических величин – температуры (минимальной и максимальной) на основе данных с нескольких метеорологических ресурсов. Методологической основой исследований является математическая статистика. Полученные результаты представлены по сезонам и в целом по обследуемому региону на срок до шести дней вперед. Показано, что наименее оправдываемым сезоном прогноза экстремумов температур оказалась зима.

*Ключевые слова:* качество прогноза погоды, оправдываемость прогноза температур.

### Введение

Погодные условия во многом определяют эффективность работы народного хозяйства и бизнеса, оказывая на деятельность человечества в целом. Особо отметим влияние погодных условий на планирование туризма и отдыха; этой проблеме сейчас уделяется большое влияние [1]. Прогноз погоды является сложной и комплексной задачей физики атмосферы, решаемой с применением аналитических, численных и статистических методов [2-5]. Для потребителей важно знать, насколько оправдываются прогнозы отдельных характеристик погоды, и этим вопросам посвящен ряд работ [6-10]. Здесь используются разные методы, такие как оценка среднеквадратичной ошибки [6] и анализ компонент метеорологических моделей [7, 8].

В данной работе поставлена цель независимо оценить эффективность прогнозов температуры в Нижнем Новгороде, предоставляемых различными сайтами. Из всех метеорологических характеристик был выбран анализ экстремумов температур (ежедневных максимальных и минимальных значений температуры воздуха). Для сравнительной оценки качества прогнозов взяты три популярных метеоресурса: [weather.com](http://weather.com), [gismeteo.ru](http://gismeteo.ru) и [meteoinfo.ru](http://meteoinfo.ru). Оправдываемость прогноза проверяется с помощью методов математической статистики [5,11]. Данное исследование ограничено исключительно рамками Нижнего Новгорода. Оцениваются ежедневные прогнозы до 6 дней вперед по максимумам и минимумам температур. Периоды, в течение которых собирались данные: 01.10.2016 – 30.04.2017 и 01.10.2017 – 30.04.2018. Сбор данных с сайтов метеорологических организаций осуществлялся в автоматическом режиме.

## Выбранные метеорологические информационные системы

Нижеперечисленные метеоресурсы выбраны в силу их популярности на территории России.

Weather.com – сайт компании The weather company, которая основана в 1982 году и с 2016 года является дочерней организацией IBM. Она является одной из самых авторитетных метеорологических компаний. Метеоресурсом пользуются 100 млн пользователей в месяц.

Gismeteo.ru – российская метеорологическая компания, начавшая свою деятельность в 1990-х гг. Ресурс посещается около 10 млн пользователей в месяц с прогнозами для 13 000 населенных пунктов России.

Meteoinfo.ru – официальный сайт Гидрометцентра России – организации, являющейся членом Всемирной Метеорологической Организации (ВМО).

Обычно метеорологические информационные системы предоставляют прогнозы на различные временные периоды. Выбранные выше ресурсы дают прогнозы до шести дней вперед. Конечно, некоторые из них предоставляют прогнозы и на больший срок, но именно диапазон в шесть дней является наиболее общим для них. Это позволит сравнить оправдываемость прогноза на одинаковый срок.

## Хранение данных температуры и расчётов

Собираемые данные – максимумы и минимумы температур. Собираются шесть чисел максимумов (прогноз до 6 дней вперед) и столько же минимумов. Такой размер прогнозирования является среднесрочным, и зачастую именно он исследуется в метеорологии [9]. В результате получаются два листа в таблице для каждого информационного ресурса, одна для максимумов, а другая – для минимумов; всего 6 листов. На рис. 1 показан фрагмент таблицы с данными с одного ресурса для максимальной температуры. Строки в данной таблице представляют конкретные даты, во время которых производится прогноз до шести дней вперед. Первый столбец – температура в текущую дату (0-дней), остальные столбцы – температуры предсказаний на будущие дни (1-6 дней). Обработка данных производится по выделенным (серым) элементам таблицы, которые соответствуют предсказаниям на одну и ту же дату. Левый нижний конец такой диагонали есть реальная температура этого дня (например, B8), следующий элемент (C7) есть температура на этот же день, предсказываемая накануне, последующий элемент (D6) есть прогностическая температура на тот же день, предсказанная за два дня до этого, и т.д., вплоть до ячейки H2, где представлена прогностическая температура за 6 дней до этого. Несколько элементов таблице в начале и конце рассматриваемого периода времени приходится обрезать, но если период времени достаточно большой, то уменьшение числа элементов не влияет на репрезентативность выводов.

Обозначим реально наблюдаемые данные температур как  $x_n$  ( $n$  – соответствует дате измерений) и прогностические данные как  $y_{ni}$ , где индекс  $i = 1-6$  соответствует прогнозам на этот же день, сделанным за  $i$  дней до этого. Все данные разбиты по сезонам, чтобы иметь однородные выборки, так что число данных в каждой выборке около 60-90. На плоскости  $x$ - $y$  получаем облако точек (рис. 2), где каждому  $x_n$  соответствует шесть значений  $y_{ni}$ . Идеальному прогнозу соответствует биссектриса на данной плоскости, в реальности же имеется разброс между измеренными и прогностическими данными.

В качестве количественного критерия оправдываемости прогноза выберем здесь коэффициент детерминации, известный как  $R^2$  [5, 11-13]

$$R_i^2 = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (y_{ni} - x_i)^2}{\sum_{n=1}^N (y_{ni} - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}$  – среднее значение температуры по выборке из  $N$  элементов. По сравнению с существующими метриками качества прогнозов [12, 13] оценка  $R^2$  вполне информативна и в какой-то степени устойчива к выбросам и нулевым значениям.

|    | A                                | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      |
|----|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | дата/диапазон<br>прогнозирования | 0-дней | 1-дней | 2-дней | 3-дней | 4-дней | 5-дней | 6-дней |
| 2  | 1.10.2017                        | 8      | 8      | 9      | 10     | 10     | 12     | 12     |
| 3  | 2.10.2017                        | 7      | 6      | 10     | 9      | 11     | 10     | 11     |
| 4  | 3.10.2017                        | 7      | 10     | 8      | 10     | 12     | 12     | 12     |
| 5  | 04.10.2017                       | 8      | 8      | 10     | 12     | 12     | 13     | 11     |
| 6  | 05.10.2017                       | 7      | 10     | 11     | 13     | 14     | 13     | 10     |
| 7  | 06.10.2017                       | 10     | 11     | 14     | 14     | 11     | 11     | 10     |
| 8  | 07.10.2017                       | 12     | 14     | 15     | 12     | 11     | 12     | 11     |
| 9  | 08.10.2017                       | 13     | 15     | 13     | 10     | 11     | 10     | 9      |
| 10 | 09.10.2017                       | 16     | 13     | 11     | 11     | 10     | 10     | 8      |
| 11 | 10.10.2017                       | 14     | 12     | 12     | 10     | 9      | 8      | 7      |

Рис. 1. Формат хранения экстремумов температур

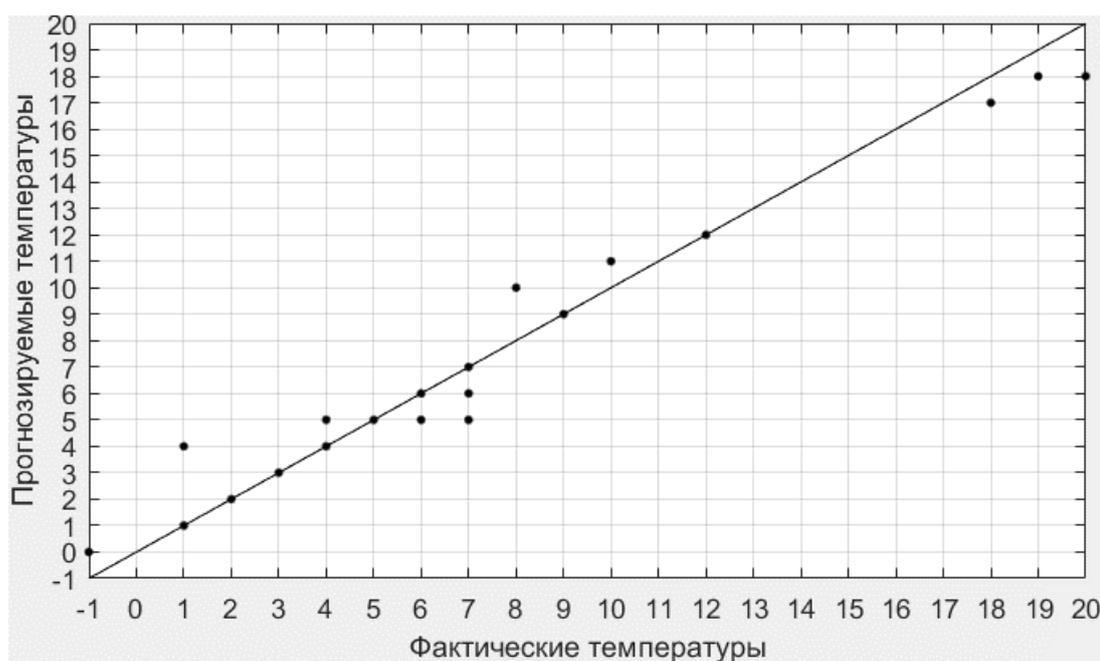


Рис. 2. Представление анализируемых данных (для максимумов температур с сайта weather.com за октябрь-ноябрь 2016 года) на плоскости, сплошная линия – модель «идеально» спрогнозированной температуры

### Полученные результаты

По описанному выше принципу осуществлено вычисление  $R^2$  по трём сезонам (осень, зима, весна) для трёх метеоресурсов (weather.com, gismeteo.ru, meteoinfo.ru) по максимумам и минимумам температур на срок от 1 до 6 дней вперед. В табл. 1 показаны значения  $R^2$  для максимальных и минимальных температур в осенний период. Строки соответствуют размеру прогноза, а столбцы – точности для трёх метеоресурсов. В каждой строчке верхние значения соответствуют осеннему периоду 2017 и 2016 года, а нижние – только 2016 года (уменьшенное

количество данных). Серым цветом в данных выделено наибольшее значение величины  $R^2$  среди трех метеосайтов. Как и следовало ожидать, коэффициент  $R^2$  убывает с ростом периода прогноза и оправдываемость прогноза на 6 дней составляет меньше 70%. Если же говорить о сопоставлении разных метеоресурсов, то однодневные прогнозы осенью делаются лучше сайтом weather.com (97%). Вместе с тем, различие в процентах для максимальных температур незначительно (2%), а вот для минимальных температур оно больше (7%). Точность прогноза на 2 дня убывает незначительно в случае прогноза максимальных температур (93% в среднем с разбросом 1% в обе стороны от среднего), и она более заметна в прогнозе минимальных температур (83-87%). Точность прогнозов на шесть дней самая плохая: по максимальной температуре разброс 13%, с наилучшим прогнозом в 79%, а по минимальной температуре наилучший прогноз 70%. В целом в осенний период лучший прогноз максимальной температуры выдавал сайт weather.com, а по минимальной температуре – сайт gismeteo.ru. Отметим также, что учет двух осенних сезонов 2016 и 2017 года привел в целом к увеличению коэффициента детерминации по сравнению с данными только одного сезона 2016 года, что говорит о необходимости анализа длительных рядов.

Таблица 1

**Точность прогноза максимумов и минимумов температур за период октябрь-ноябрь 2016 и 2017 года (верхние значения) в сравнении с 2016 годом (нижние значения)**

| про-<br>гноз/<br>сайт | MAX         |             |              | MIN         |             |              |
|-----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                       | weather.com | gismeteo.ru | meteoinfo.ru | weather.com | gismeteo.ru | meteoinfo.ru |
| 1-дней                | 0,97        | 0,95        | 0,95         | 0,94        | 0,94        | 0,87         |
|                       | 0,94        | 0,95        | 0,95         | 0,90        | 0,92        | 0,80         |
| 2-дней                | 0,92        | 0,93        | 0,94         | 0,83        | 0,89        | 0,87         |
|                       | 0,92        | 0,92        | 0,95         | 0,88        | 0,83        | 0,80         |
| 3-дней                | 0,90        | 0,90        | 0,90         | 0,76        | 0,89        | 0,79         |
|                       | 0,89        | 0,89        | 0,93         | 0,63        | 0,84        | 0,67         |
| 4-дней                | 0,85        | 0,83        | 0,86         | 0,73        | 0,80        | 0,72         |
|                       | 0,86        | 0,81        | 0,88         | 0,60        | 0,73        | 0,55         |
| 5-дней                | 0,83        | 0,81        | 0,79         | 0,72        | 0,77        | 0,63         |
|                       | 0,83        | 0,74        | 0,77         | 0,69        | 0,73        | 0,41         |
| 6-дней                | 0,79        | 0,75        | 0,68         | 0,66        | 0,70        | 0,61         |
|                       | 0,75        | 0,68        | 0,67         | 0,65        | 0,67        | 0,56         |

Прогнозы максимумов/минимумов зимнего периода (табл. 2) на 1-2 дня вперед не уступают по точности осеннему периоду (83-97%), но при увеличении времени прогнозирования тенденция к уменьшению точности резко обостряется. Для прогнозов на 4-6 дней, значение точности приближается к 50% отметке, а шестидневные прогнозы максимальных температур становятся чрезмерно низкими: 30-45%. Выделить здесь однозначно наиболее лучший сайт затруднительно.

Отметим, что в целом максимальные температуры зимой предсказывается хуже, чем осенью, а при прогнозах на 4-6 дней точность становится ниже 50%. Таким образом, естественное предположение, что стабильные сезоны лучше прогнозируются, данными не подтверждается.

Таблица 2

Точность прогноза максимумов и минимумов температур за зимний период (декабрь-февраль) 2016/2017 и 2017/2018 годов (верхние значения) в сравнении с 2016/2017 годом (нижние значения)

| прогноз/<br>сайт | MAX         |             |              | MIN         |             |              |
|------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                  | weather.com | gismeteo.ru | meteoinfo.ru | weather.com | gismeteo.ru | meteoinfo.ru |
| 1-дней           | 0,95        | 0,83        | 0,93         | 0,94        | 0,88        | 0,92         |
|                  | 0,95        | 0,92        | 0,91         | 0,89        | 0,89        | 0,88         |
| 2-дней           | 0,85        | 0,83        | 0,85         | 0,97        | 0,82        | 0,92         |
|                  | 0,86        | 0,82        | 0,84         | 0,91        | 0,79        | 0,90         |
| 3-дней           | 0,80        | 0,79        | 0,77         | 0,88        | 0,78        | 0,82         |
|                  | 0,75        | 0,76        | 0,72         | 0,87        | 0,58        | 0,73         |
| 4-дней           | 0,63        | 0,65        | 0,65         | 0,80        | 0,59        | 0,57         |
|                  | 0,69        | 0,54        | 0,58         | 0,79        | 0,23        | 0,33         |
| 5-дней           | 0,55        | 0,58        | 0,48         | 0,33        | 0,44        | 0,56         |
|                  | 0,46        | 0,46        | 0,43         | 0,55        | 0,16        | 0,46         |
| 6-дней           | 0,45        | 0,37        | 0,30         | 0,27        | 0,41        | 0,31         |
|                  | 0,35        | 0,20        | 0,07         | 0,15        | 0,12        | 0,14         |

Прогнозы максимумов и минимумов весеннего периода (табл. 3) имеют такую же оправдываемость, как и в осенний период. Прогнозы на один день вперёд довольно точные, и удваивание объёма данных для вычисления  $R^2$  почти не повлияло на их значения (за исключением gismeteo.ru). Двухдневные прогнозы оправдываются тоже достаточно хорошо: 93-94%. Увеличение данных за два сезона приводит к возрастанию  $R^2$  на 2-9%. Трёхдневные прогнозы также обладают высокой точностью – около 90%.

Таблица 3

Точность прогноза максимумов и минимумов температур за весенний период (март-апрель) 2018 года (верхние значения) и 2017 года (нижние значения)

| прогноз/<br>сайт | MAX         |             |              | MIN         |             |              |
|------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                  | weather.com | gismeteo.ru | meteoinfo.ru | weather.com | gismeteo.ru | meteoinfo.ru |
| 1-дней           | 0,97        | 0,95        | 0,94         | 0,99        | 0,94        | 0,97         |
|                  | 0,94        | 0,86        | 0,94         | 0,95        | 0,82        | 0,89         |
| 2-дней           | 0,94        | 0,94        | 0,93         | 0,97        | 0,91        | 0,95         |
|                  | 0,90        | 0,85        | 0,91         | 0,91        | 0,67        | 0,81         |
| 3-дней           | 0,90        | 0,91        | 0,90         | 0,95        | 0,86        | 0,92         |
|                  | 0,85        | 0,83        | 0,83         | 0,87        | 0,69        | 0,72         |
| 4-дней           | 0,92        | 0,90        | 0,90         | 0,89        | 0,83        | 0,91         |
|                  | 0,83        | 0,81        | 0,79         | 0,79        | 0,68        | 0,69         |
| 5-дней           | 0,80        | 0,79        | 0,81         | 0,73        | 0,78        | 0,84         |
|                  | 0,74        | 0,71        | 0,65         | 0,55        | 0,65        | 0,42         |
| 6-дней           | 0,70        | 0,69        | 0,72         | 0,67        | 0,71        | 0,70         |
|                  | 0,66        | 0,54        | 0,51         | 0,24        | 0,45        | 0,20         |

Оправдываемость прогнозов максимальных температур на 5 и 6 дней вперед достаточно высока и варьируется от 69 до 81%. Увеличение объема выборки для таких среднесрочных прогнозов сильнее влияет на величину  $R^2$ , чем для краткосрочных прогнозов на 1-3 дня вперед. Для прогнозов минимальных температур точность примерно такая же, как и максимальных температур, но краткосрочные прогнозы weather.com наиболее оправдываемые, а на 4-5 дней лучший прогноз выдает meteoinfo.ru. Оправдываемость прогноза минимальных температур весной на 1-3 дня вперед варьируется от 86 до 99%. Естественно, с увеличением срока прогнозов точность падает.

Для количественного сопоставления различных метеоресурсов мы дали один балл метеоресурсу, который показал наиболее высокое значение величины  $R^2$ . Если два или три ресурса дают максимальное значение величины  $R^2$ , то им также присваивается один балл. Из-за этого сумма баллов не всегда равна шести (сколько дней прогноза). Результаты сравнения представлены в табл. 4. Серым цветом в таблице выделен ресурс, который имеет наибольшее количество баллов для различных сезонов. Из этих данных следует, что наиболее оправдываемым метеоресурсом является weather.com.

Таблица 4

## Сравнение баллов метеорологических информационных систем по сезонам

|              | осень |     | Зима |     | весна |     |
|--------------|-------|-----|------|-----|-------|-----|
|              | max   | min | max  | min | max   | min |
| weather.com  | 4     | 1   | 4    | 4   | 4     | 3   |
| gismeteo.ru  | 1     | 6   | 2    | 1   | 2     | 1   |
| meteoinfo.ru | 3     | 0   | 2    | 1   | 1     | 2   |

## Заключение

Таким образом, анализ работы различных метеоресурсов по прогнозу ежедневной температуры на срок от одного до шести дней привел к следующим двум важным выводам.

Степень оправдываемости прогнозов экстремальных температур действительно убывает по мере увеличения периода прогнозирования, что теперь можно характеризовать количественно. Наименее оправдываемые прогнозы выдавались на зимний период по сравнению с весенними и осенними сезонами, что представляется несколько неожиданным. В нашем распоряжении нет данных по летнему периоду, поэтому полученный вывод нуждается в дальнейшей проверке.

Представленный анализ является независимым, и у авторов нет конфликта интересов ни с одной из этих метеорологических организаций.

*Исследование опасных явлений для одного из авторов (ЕП) поддерживается в рамках гранта РФФИ 18-05-80019.*

## Библиографический список

1. **de Freitas, C.R.** Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector / C.R. de Freitas // International Journal of Bilmeteorology. – 2003. – Vol. 48 – P. 45-54.
2. **Вайсберг, Дж.** Погода на Земле / Дж. Вайсберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 247 с.
3. **Гордин, В.А.** Математические задачи гидродинамического прогноза погоды / В.А. Гордин. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 256 с.
4. **Гордин, В.А.** Математика, компьютер, прогноз погоды и другие сценарии математической физики / В. А. Гордин. – М.: Физматгиз, 2010 – 736 с.
5. **Wilks, D.** Statistical methods in atmospheric science / D. Wilks // Elsevier. – 2006 – 627 pages.

6. **Bhomia, S.** Accuracy assessment of rainfall prediction by global models during the landfall of tropics / S. Bhomia, N. Jaiswa, C. M. Kishtawal // *Meteorological Applications*. – 2017. – Vol. 24. – Issue 3. – P. 503-511.
7. **Mason, I.** A model for assessment weather forecast / I. Mason // *Australian Meteorological Magazine*. – 1982. – Vol. 30. – P. 291-302.
8. **Pascal, J.M.** Quality of weather forecast / J.M. Pascal, T. J. Ian, David B. Stephenson // *Quarterly Journal of the royal Meteorological Society*. – 2006. – Vol. 132 (614). – P. 25-33.
9. **Palmer, M.** Estimates of flow-dependent predictability of wintertime Euro-Atlantic weather regimes in medium-range forecasts / M. Palmer, T.N. Matsueda // *Quarterly Journal of the royal Meteorological Society*. – 2018. – Vol 144 (713). – P. 1-16.
10. **Choungla, M.** Towards improved objective analysis of lake surface water temperature in a NWP model: preliminary assessment of statistical properties / M. Choungla, K. Eerola, E. Kourzeneva, L. Rountu, F.Pan, C.R. Duguay // *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. – 2017. – Vol. 69, No. 1. – P. 5-9.
11. **Пелиновский, Е.Н.** Методы прогнозирования природных катастроф. Часть 1. Статистические методы прогноза / Е.Н. Пелиновский, Т.Г. Талипова, И.И. Диденкулова, А.А. Куркин. – Нижний Новгород, 2014. – 56 с.
12. **Бахрушин, В.Е.** Методы оценивания характеристик нелинейных статистических связей / В.Е. Бахрушин // *Системные технологии*. – 2011. – № 2 (73). – С. 9-14
13. **Chen, C.** A new accuracy measure based on bounded relative error for time series forecasting / C. Chen, J. Twycross, J. M. Garibaldi // *PLoS One*. – 2017. – Vol. 12, No. 3 – e0174202 (23 pages).

*Дата поступления  
в редакцию: 25.09.2018*

**A.A. Golovanov<sup>1</sup>, E.N. Pelinovsky<sup>1-3</sup>**

### **EVALUATION OF FORECAST PERFORMANCE DEGREE OF EXTREMAL TEMPERATURES IN NIZHNY NOVGOROD**

National research university – Higher school of economics, Moscow<sup>1</sup>

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev<sup>2</sup>

Institute of applied physics, Nizhny Novgorod<sup>3</sup>

**Purpose:** an independent evaluation of degree of temperatures forecast performance.

**Design/methodology/approach:** an automatized daily collection and calculation via GAS/Matlab scripts, R-square usage, storage data in the table format.

**Findings:** the methodology of devising the temperature forecast accuracy

**Research limitations/implications:** maximum and minimum temperatures forecast from 1 to 6 days ahead, observed meteorological databases: weather.com, gismeteo.ru, meteoinfo.ru, observation period is 01.10.2016-30.04.2017, 01.10.2017-30.04.2018.

*Key words:* quality of weather forecast, performance of temperature forecast, accuracy weather evaluation.