



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов _
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Верификация прогноза температуры и осадков для г. Вологда»

Исполнитель Трунина Анна Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 01 » июня 2021 г.

Санкт-Петербург
2021

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	2
1 Регион исследования - Вологодская область.....	5
1.1 Физико-географическое положение.....	5
1.2 Климатические особенности Вологодской области.....	7
1.3 Максимальные и минимальные среднемесячные температуры Вологодской области в промежутке 1990-2020гг.....	10
2 Используемые данные.....	17
3 Методы оценки качества прогнозов.....	28
3.1 Характеристики, используемые для оценки качества прогнозов	28
3.1.1 Оправдываемость прогноза погоды.....	29
3.1.2 Абсолютная и относительная погрешность измерения.....	30
3.1.3 Коэффициент корреляции, дисперсия и коэффициент вариации	31
3.1.4 Матрица сопряженности.....	31
4 Оценка качества прогноза для г.Вологда.....	34
4.1 Оценка статистических характеристик прогноза.....	41
4.2 Оценка прогнозов с использованием матрицы сопряженности	49
Заключение.....	54
Список использованных источников.....	56

ВВЕДЕНИЕ

Прогноз погоды - это физически обоснованное предположение о состоянии погоды через определенный промежуток времени в определенном регионе. Существует несколько методов прогнозирования: синоптический метод; численный метод; статистический метод.

Прогнозы погоды делятся на разные типы согласно сроку прогнозирования:

- Наукастинг
- Сверхкраткосрочные
- Краткосрочные
- Среднесрочные
- Долгосрочные

Все прогнозы (температура, осадки, влажность и поле давления (геопотенциала) основаны на законах, описывающих гидродинамические процессы в атмосфере. Гидродинамические законы включают в себя уравнения движения, состояния газов, переноса тепла и влаги, сохранения массы. Решая эти уравнения численными методами для определенного состояния атмосферы, можно получить числовые значения будущих полей давления, температуры, ветра и др. В качестве начальных данных подставляются значения исходного состояния атмосферы. Точность численных прогнозов зависит от развития вычислительной техники.

Синоптический метод прогнозирования основан на анализе карт погоды (синоптических карт). Синоптические карты - это географические карты, на которых с помощью соответствующих символов и цифр отображается состояние погоды. Наблюдая за изменениями состояния атмосферы на обширной территории можно определить вероятные изменения погодных

условий в определённом районе, а также узнать возможные изменения величин и сопутствующие им появления атмосферных явлений. Задачей синоптика является расчет траектории движения частицы воздуха, которая переносит свойства воздушной массы. Синоптический метод позволяет дать достоверный прогноз не более, чем на 1 сутки, для более долгосрочного прогноза используют гидродинамический метод.

Существует большое количество источников, где каждый человек может посмотреть прогноз погоды, но не всегда он является качественным и точным. Именно поэтому статистический анализ - один из самых популярных источников гидрометеорологической информации - поможет понять какому прогнозу можно доверять.

В данной работе исследуется три сайта, дающие синоптический прогноз (Вологодский центр) и гидродинамический прогноз (“Расписание погоды”, Гидрометцентр России). Период исследования - с 30 ноября 2020 года по 29 декабря 2020 года.

Целью работы является проведение статистического анализа прогноза погоды, представленного тремя разными сайтами (Вологодский центр, Расписание погоды, Гидрометцентр России).

В задачи работы входит подготовка базы данных, расчет абсолютной и относительной погрешности, коэффициента корреляции, коэффициента вариации, оправдываемость и построение матрицы сопряженности по минимальной и максимальной температуре.

Список использованной литературы содержит 7 наименований.

1. РЕГИОН ИССЛЕДОВАНИЯ - ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ

1.1 Физико-географическое положение

Вологодская область является частью северо-западного федерального округа, который также часть Российской Федерации. На рисунке 1.1 представлено расположение Вологодской области.

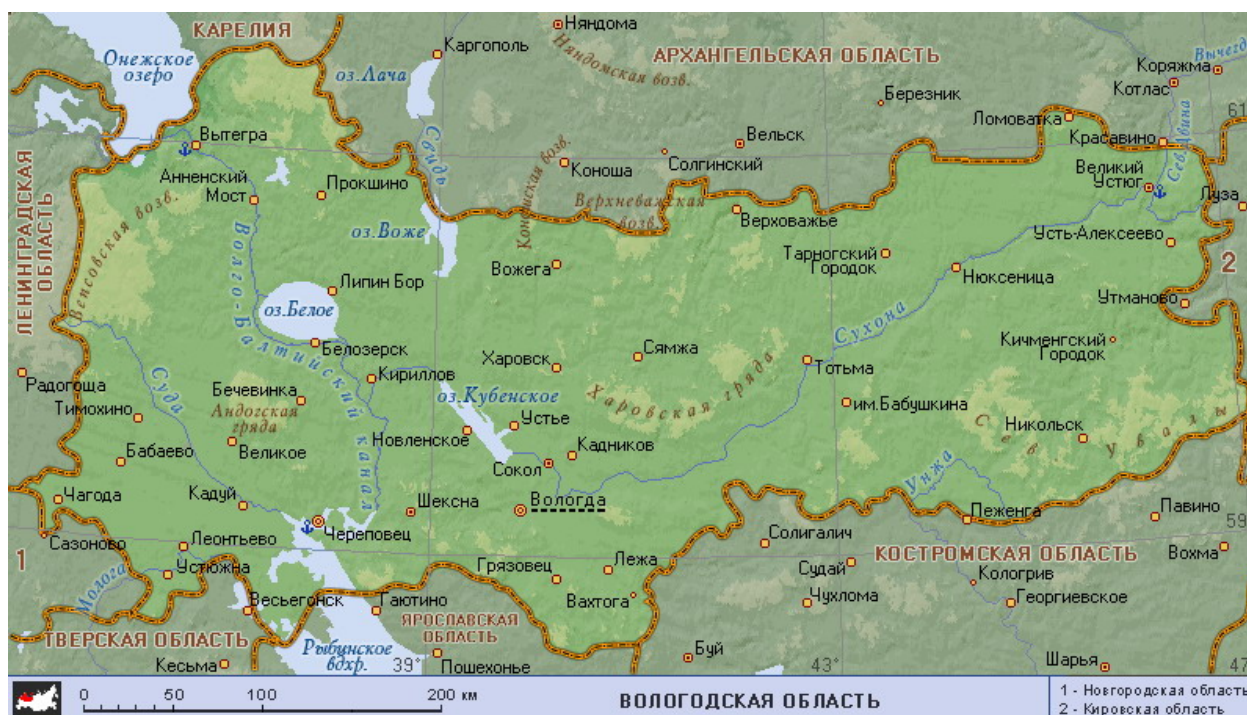


Рисунок 1.1 - Расположение Вологодской области

Вологодская область находится на высоте 150-200 м над уровнем моря на территории северной части Восточно-Европейской равнины [1]. Поверхность представляет собой низменную равнину со множеством озер, болот, рек и многочисленными невысокими грядами и возвышенностями. На территории области - водораздел Евразии между бассейнами Северного Ледовитого, Атлантического океанов и бассейном внутреннего стока (Каспийское море). Для западной части характерен относительно расчлененный моренно-озерный рельеф области валдайского обледенения. Выделяются: Прионежская низменность, окаймленная Вепсовской (304 м -

высшая точка Вологодской области) и Андомской моренными возвышенностями, Мегорской грядой; заболоченная обширная озерно-водно-ледниковая Молого-Шекснинская низменность с Андогской грядой; Белозерская низменность, окруженная Белозерской и Кирилловской конечно-моренными грядами. Центральная часть области отличается более сглаженным увалистым рельефом области московского оледенения. Здесь расположены заболоченная Присухонская низина, Верхневажская возвышенность, северной части Даниловской и Галичской возвышенностей, Харовская гряда. На востоке - волнисто-увалистая равнина, на юго-востоке - возвышенность Северные Увалы [1].

Вологодская область богата водными ресурсами. Характерна густая речная сеть. В Северный Ледовитый океан несут свои воды реки бассейна Северной Двины, в том числе Сухона, Юг; в Атлантический океан - реки бассейна Онежского озера; в Каспийское море - реки бассейна Волги, в том числе Молога, Суда, Шексна. Реки Вологодской области имеют смешанное снегово-дождевое (отчасти грунтовое) питание. На апрель-июнь приходится примерно половина годового стока рек. Ледостав длится 160-170 дней. В области свыше 4 тысяч озер, в том числе Онежское озеро (частично в пределах Вологодской области), Белое озеро, Кубенское озеро, озеро Воже и др. [1].

Область расположена в пределах подзон средней и южной тайги. В северной части области преобладают подзолистые почвы, в южной - дерново-подзолистые; часто встречаются подзолисто-глеевые, дерново-карбонатные, болотные, аллювиальные дерновые почвы. Леса занимают около 75% площади Вологодской области (на северо-западе и юго-востоке 80%, в центральной части до 50%). Свыше 50% лесов - хвойные, преобладают ельники [1].

1.2 Климатические особенности Вологодской области

Для рассмотрения климатических особенностей Вологодской области были взяты 6 метеорологических станций с периодом наблюдений с 1990 – 2020 гг. (таблица 1.1) [1].

Таблица 1.1 - Координаты метеорологических станций Вологодской области

Код	Станция	Широта	Долгота
22837	Бабаево	59°24'	35°56'
22981	Великий Устюг	60°46'	46°18'
27008	Вологда	59°19'	39°56'
27037	Вытегра	61°01'	36°27'
27051	Никольск	59°32'	45°28'
27066	Тотьма	59°53'	42°45'

Далее, на рисунке 1.2 показано графическое расположение метеорологических станций.



Рисунок 1.2- Расположение метеостанций на территории Вологодской области

Рассмотрим распределение многолетней среднегодовой, средней за теплый сезон и средней за холодный сезон температуры.

Распределение температуры за выбранный период соответствует нормальному (минимум в январе и максимум в июле), что показано на рисунке 1.3



Рисунок 1.3 - Распределение средней многолетней температуры в Вологодской области

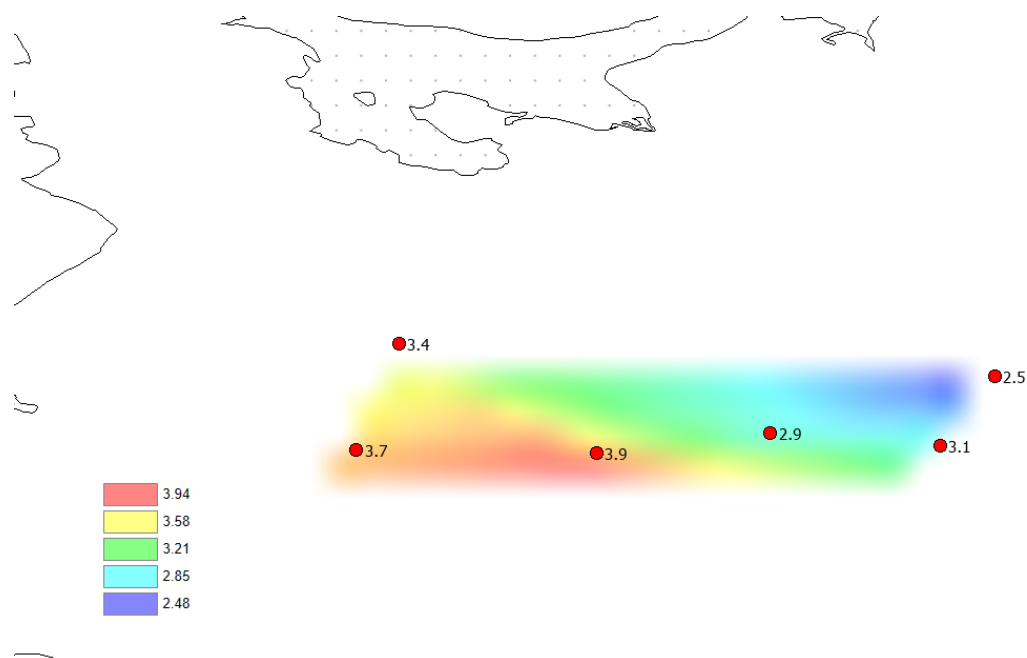


Рисунок 1.4 - Распределение среднегодовой температуры на территории Вологодской области

Как видно из рисунка 1.4 температура имеет меридиональное распределение, уменьшаясь с запада на восток и с юга на север неявно.

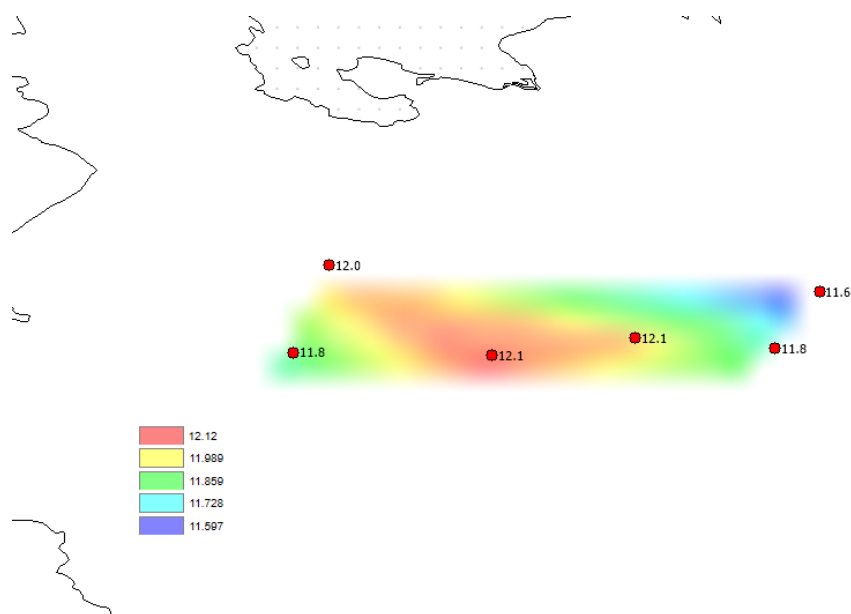


Рисунок 1.5 - Распределение средней температуры теплого сезона на территории Вологодской области

На рисунке 1.5 наблюдается уменьшение средней температуры теплого сезона с запада на восток.

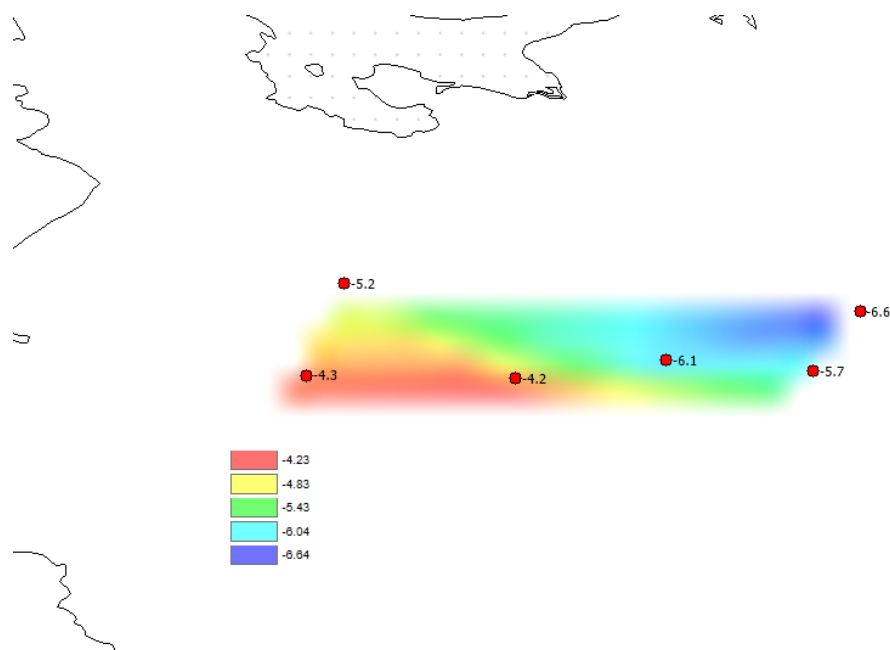


Рисунок 1.6 - Распределение средней температуры холодного сезона на территории Вологодской области

На рисунке 1.6 наблюдается уменьшение средней температуры холодного сезона с запада на восток и с юга на север.

1.3 Максимальные и минимальные среднемесячные температуры Вологодской области в промежутке 1990-2020 гг

В приведенных ниже таблицах (1.2 - 1.13) представлены максимальные и минимальные температуры по 6 метеорологическим станциям Вологодской области. Таблицы взяты с сайта мирового центра данных - Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации.

Таблица 1.2 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Январь

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	-4.6	-16.3
Великий Устюг	-7.4	-18.6
Вологда	-4.5	-16.3
Вытегра	-5.5	-16.3
Никольск	-6.3	-17.3
Тотьма	-6.7	-19.2

В январе максимальные температуры наблюдались на станции Вологда, а минимальные на станции Тотьма.

Таблица 1.3 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Февраль

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	0.2	-18.7
Великий Устюг	-2.1	-20
Вологда	-0.1	-16.9
Вытегра	-1.0	-17.9
Никольск	-1.6	-17.1
Тотьма	-2.1	-18.2

В феврале максимальные температуры наблюдались на станции Бабаево, а минимальные на станции Великий устюг.

Таблица 1.4 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Март

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	2.0	-11.9
Великий Устюг	0.3	-12.9
Вологда	2.7	-10.0
Вытегра	2.0	-12.1
Никольск	1.5	-11.9
Тотьма	1.1	-12.3

В марте максимальные температуры наблюдались на станциях Бабаево и Вытегра, а минимальные на станции Великий Устюг.

Таблица 1.5 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Апрель

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	8.0	-1.6
Великий Устюг	6.2	-2.9
Вологда	8.0	0.9
Вытегра	7.8	-0.5
Никольск	7.2	-1.3
Тотьма	7.0	-1.6

В апреле максимальные температуры наблюдались на станциях Бабаево и Вологда, а минимальные на станции Великий Устюг.

Таблица 1.6 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Май

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	13.5	4.4
Великий Устюг	14.1	4.8
Вологда	14.3	6.1
Вытегра	14.8	5.9
Никольск	14.5	5.4
Тотьма	14.6	5.4

В мае максимальные температуры наблюдались на станции Вытегра, а минимальные на станции Бабаево.

Таблица 1.7 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Июнь

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	19.6	10.8
Великий Устюг	18.5	11.1
Вологда	20.8	11.6
Вытегра	19.0	11.6
Никольск	18.5	11.4
Тотьма	18.8	11.6

В июне максимальные температуры наблюдались на станции Вологда, а минимальные на станции Бабаево.

Таблица 1.8 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Июль

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	23.0	14.9
Великий Устюг	21.9	14.7
Вологда	24.0	15.2
Вытегра	22.9	15.2
Никольск	22.5	15.3
Тотьма	22.5	14.9

В июле максимальные температуры наблюдались на станции Бабаево, а минимальные на станции Великий Устюг.

Таблица 1.9 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Август

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	17.8	13.4
Великий Устюг	18.0	10.9
Вологда	18.4	13.1
Вытегра	17.7	13.2
Никольск	17.9	12.1
Тотьма	18.6	11.9

В августе максимальные температуры наблюдались на станции Тотьма, а минимальные на станции Великий Устюг.

Таблица 1.10 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Сентябрь

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	12.4	5.5
Великий Устюг	12.5	4.6
Вологда	12.0	5.3
Вытегра	12.2	5.2
Никольск	12.1	4.8
Тотьма	12.4	4.7

В сентябре максимальные и минимальные температуры наблюдались на станции Великий Устюг.

Таблица 1.11 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Октябрь

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	7.0	-1.0
Великий Устюг	5.7	-2.1
Вологда	6.7	-0.9
Вытегра	6.8	-2
Никольск	6.5	-2.2
Тотьма	6.2	-1.2

В октябре максимальные температуры наблюдались на станции Бабаево, а минимальные на станции Никольск.

Таблица 1.12 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Ноябрь

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	2.5	-9.3
Великий Устюг	1.0	-11.8
Вологда	2.1	-10.3
Вытегра	2.0	-11.7
Никольск	1.4	-11.7
Тотьма	1.2	-11.3

В ноябре максимальные температуры наблюдались на станции Бабаево, а минимальные на станции Великий Устюг.

Таблица 1.13 - Максимальные и минимальные температуры по метеорологическим станциям Вологодской области, Декабрь

Станция	t_{\max}	t_{\min}
Бабаево	1.1	-14.4
Великий Устюг	-2.6	-17.9
Вологда	0.6	-15.1
Вытегра	-0.1	-16.3
Никольск	-1.1	-17
Тотьма	-2.1	-18.3

В декабре максимальные температуры наблюдались на станции Бабаево, а минимальные на станции Тотьма.

Проанализировав данные всех таблиц, можно сделать вывод о том, что чаще всего максимальные температуры наблюдаются на метеорологической станции Бабаево, а минимальные на станции Великий Устюг. Это связано с тем, что станция Бабаево находится вблизи больших городов и на температуру воздуха влияет антропогенный фактор, а Великий Устюг находится севернее и восточнее остальных станций, поэтому температуры воздуха там ниже, чем в других станциях.

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Для исследования качества прогноза температуры использовались следующие источники информации:

1) Вологодский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (vsgms.ru);

2) Сайт "Расписание погоды" (rp5.ru), на котором представлены результаты гидродинамического прогноза погоды, сделанном Мет Офисом Великобритании (UK Met Office);

3) Гидрометцентр России (meteoinfo.ru).

«Вологодский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» является филиалом Федерального государственного бюджетного учреждения «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (далее Филиал ФГБУ Северное УГМС «Вологодский ЦГМС») Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (приказ Росгидромета от 10.08.2011 № 420 «О реорганизации подведомственных Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды государственных учреждений в составе Северного УГМС» и приказ от 19.08.2011 № 455 «О внесении изменений в приказ Росгидромета от 10.08.2011 № 420») [2]. Филиал ФГБУ Северное УГМС «Вологодский ЦГМС» выполняет специальные (исполнительные, контрольные) функции в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. Центр осуществляет производство наблюдений за гидрометеорологическими процессами, загрязнением окружающей природной среды, обеспечивает органы государственной власти, отрасли экономики, население информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей среды, её загрязнении, в том числе экстренной информацией по территории Вологодской области [2].

Деятельность центра осуществляется на основании лицензии (регистрационный номер Р/2013/2389/100/Л) [2], включающей в себя:

- ◆ определение метеорологических, авиаметеорологических, климатологических, гидрологических, гелиогеофизических и агрометеорологических характеристик;
- ◆ окружающей среды;
- ◆ определение уровня загрязнения (включая радиоактивное) атмосферного воздуха, почв, водных объектов;
- ◆ подготовку и предоставление потребителям прогностической, аналитической и расчетной информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении (включая радиоактивное);
- ◆ формирование и ведение банков данных в области гидрометеорологии и смежных с ней областях.

Данные с сайта «Вологодского ЦГМС» взяты за период с 30 ноября по 29 декабря 2020 года и представлены в таблице 2.1. В них входит облачность, максимальная и минимальная температура, направление и скорость ветра, осадки, а также явления погоды [2].

Таблица 2.1 - Фактические данные с сайта «Вологодского ЦГМС»

Число	Облачность	Т макс., °С	Т мин., °С	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Осадки	Явления
30.11.2020	с прояснениями	1	-3	Ю-ЮВ	умеренный	небольшой снег	местами гололедица
1.12.2020	с прояснениями	-1	-3	Ю-ЮЗ	умеренный	небольшой снег	местами гололедица
2.12.2020	с прояснениями	-3	-5	Ю-ЮЗ	умеренный	без осадков	местами гололедица
3.12.2020	переменная	-6	-11	Ю-ЮВ	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица
4.12.2020	переменная	-6	-11	Ю-ЮВ	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица

Продолжение таблицы 2.1

Число	Облачность	Т макс., °С	Т мин., °С	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Осадки	Явления
4.12.2020	переменная	-6	-11	Ю-ЮВ	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица
5.12.2020	с прояснениями	-4	-6	Ю-ЮЗ	5 - 10 м/с	без осадков	местами гололедица
6.12.2020	переменная	-4	-7	Ю-ЮЗ	5 - 10 м/с	без осадков	местами гололедица
7.12.2020	малооблачно	-5	-10	Ю-ЮЗ	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица
8.12.2020	переменная	-8	-13	З-ЮЗ	5 - 10 м/с	без осадков	местами гололедица
9.12.2020	малооблачно	-7	-19	Ю-ЮВ	4 - 9 м/с	без осадков	местами гололедица
10.12.2020	переменная	-8	-15	Ю-ЮЗ	4 - 9 м/с	без осадков	местами гололедица
11.12.2020	переменная	-8	-15	южной четверти	5 - 10 м/с	без осадков	местами гололедица
12.12.2020	с прояснениями	-7	-14	Ю-ЮЗ	5 - 10 м/с	без осадков	местами гололедица
13.12.2020	с прояснениями	-7	-17	южной четверти	слабый - умеренный	без осадков	местами гололедица
14.12.2020	с прояснениями	-6	-12	южной четверти	5 - 10 м/с	без осадков	местами гололедица
15.12.2020	с прояснениями	-5	-8	Ю-ЮЗ	3 - 8 м/с	небольшой снег	местами гололедица
16.12.2020	облачно	-3	-9	Ю-ЮЗ	3 - 8 м/с (ночью) 6 - 11 м/с (днем)	небольшой снег	местами гололедица
17.12.2020	облачно	1	-5	Ю-ЮЗ с переходом на З-СЗ	6 - 11 м/с	умеренный снег	местами гололедица
18.12.2020	переменная, с прояснением	-8	-10	северной четверти	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица
19.12.2020	с прояснениями	-8	-14	Ю-ЮВ	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица
20.12.2020	с прояснениями	-2	-10	Ю-ЮЗ	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица
21.12.2020	облачно	1	-2	З-ЮЗ	6 - 11 м/с	небольшой мокрый снег	местами гололедица
22.12.2020	с прояснениями	0	-2	З-ЮЗ	6 - 11 м/с	без осадков	местами гололедица

Продолжение таблицы 2.1

Число	Облачность	Т макс., °С	Т мин., °С	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Осадки	Явления
23.12.2020	с прояснениями	-2	-5	южной четверти	6 - 11 м/с	снег, мокрый снег	местами гололедица
24.12.2020	облачно	-3	-7	Ю-ЮВ	6 - 11 м/с	небольшие осадки	местами гололедица
25.12.2020	облачно	-3	-7	Ю-ЮВ	6 - 11 м/с	умеренный снег	местами гололедица
26.12.2020	облачно	-3	-7	Ю-ЮВ	6 - 11 м/с	умеренный снег	местами гололедица
27.12.2020	облачно	-10	-18	Ю-ЮЗ с переходом на З-СЗ	слабый	без осадков	местами гололедица
28.12.2020	облачно	-10	-12	Ю-ЮЗ с переходом на З-СЗ	слабый	без осадков	местами гололедица
29.12.2020	малооблачно	-13	-24	З-СЗ с переходом на Ю-ЮВ	слабый	без осадков	местами гололедица

Сайт «Расписание погоды» разработан и поддерживается ООО «Расписание погоды», Санкт-Петербург, Россия, с 2004 года. Компания имеет лицензию на деятельность в области гидрометеорологии и смежных областях. На сайте можно узнать прогноз на сутки, на 3 и 6 дней, а также информацию о реальной погоде. Прогнозы подготовлены Метеорологическим бюро Великобритании и доступны на веб-сайте в соответствии с контрактом между Метеорологическим бюро и ООО «Расписание Погоды». Информация о фактической погоде поступает с сервера международного обмена данными NOAA, США, в форматах SYNOP и METAR [3].

Каждый день прогнозы погоды обновляются дважды: в 5:30 и в 17:30 часов по всемирному времени. Данные наблюдений в формате SYNOP представлены на сайте с периодом 3 часа: 0:30, 3:30, 6:30, 9:30, 12:30, 15:30, 18:30 и 21:30 по всемирному времени [3]. Данные наблюдений в формате METAR представлены на сайте 1-2 раза в час, они обновляются через 10 минут после выпуска метеорологических наблюдений на станции. Прогнозы погоды на сайте выпускаются для 172500 населенных пунктов, а также 10400 данных с метеостанций SYNOP, 5400 данных METAR и 250 прибрежных станций [3]. Информация о погоде иллюстрируется в виде таблиц с точным временем прогноза.

На этом сайте можно найти информацию о:

- ◆ температуре воздуха на высоте 2 метра над уровнем земли;
- ◆ атмосферном давлении на уровне метеостанции;
- ◆ атмосферном давлении, приведенном к уровню моря;
- ◆ барической тенденции;
- ◆ относительной влажности воздуха;
- ◆ направлении и скорости ветра;
- ◆ максимальном значении порыва ветра на высоте 10-12 метров над земной поверхностью за 10-минутный период и за период между сроками;
- ◆ Общая облачность виды облаков;
- ◆ Текущая погода и прошедшая погода между сроками;
- ◆ Минимальная и максимальная температура воздуха;
- ◆ Количество облачности и высота нижней границы облаков;
- ◆ Горизонтальная дальность видимости;
- ◆ Температура точки росы;
- ◆ Количество осадков и период времени, за который они накопились;
- ◆ Состояние поверхности почвы без снега и с ним (или ледяной покров);
- ◆ Минимальная температура почвы;
- ◆ Высота снежного покрова.

Данные с сайта «Расписание погоды» взяты за тот же период: с 30 ноября по 29 декабря 2020 года и представлены в таблице 2.2 В таблице можно найти данные о максимальной и минимальной температуре, облачности, осадках, давлении, направлении и скорости ветра, порывах ветра, явлениях.

Таблица 2.2 - Фактических данных с сайта «Расписание погоды»

Число	Облачность	Т макс., °С	Т мин., °С	Осадки	Давление, мм.рт.ст.	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Порывы, м/с	Явления
30.11.20	переменная	-1	-1	есть	760	Ю-ЮВ	6 - 7 м/с	12 м/с	нет
1.12.20	переменная	-2	-3	есть	760	Ю-ЮЗ	3 - 5 м/с	11 м/с	туман
2.12.20	переменная	-3	-4	нет	764	Ю-ЮЗ	3 м/с	6 м/с	нет
3.12.20	переменная	-6	-9	нет	763	Ю-ЮВ	3 - 4 м/с	8 м/с	нет
4.12.20	переменная	-6	-6	есть	763	Ю	4 м/с	8 м/с	нет
5.12.20	переменная	-2	-4	нет	763	Ю	5 - 6 м/с	11 м/с	нет
6.12.20	ясно	-7	-8	нет	765	ЮЗ	4 - 6 м/с	11 м/с	нет
7.12.20	ясно	-8	-10	нет	766	ЮЗ	4 - 5 м/с	9 м/с	нет
8.12.20	ясно	-10	-10	нет	767	ЮЗ	3 м/с	7 м/с	нет
9.12.20	ясно	-13	-14	нет	767	Ю-ЮЗ	3 м/с	6 м/с	нет
10.12.20	ясно	-7	-13	нет	765	Ю-ЮВ	3 - 4 м/с	7 м/с	нет
11.12.20	переменная	-8	-9	нет	760	Ю	4 м/с	8 м/с	нет
12.12.20	ясно	-8	-13	нет	759	Ю	3 - 4 м/с	6 м/с	нет
13.12.20	ясно	-8	-16	нет	760	Ю	3 м/с	6 м/с	нет

Продолжение таблицы 2.2

Число	Облачность	Т макс., °С	Т мин., °С	Осадки	Давление, мм.рт.ст.	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Порывы, м/с	Явления
14.12.20	облачно	-4	-7	есть	755	Ю	3 м/с	6 м/с	туман
15.12.20	облачно	-5	-11	есть	753	Ю-ЮЗ	2 м/с	5 м/с	туман
16.12.20	переменная	-2	-13	нет	753	ЮЗ	2 м/с	7 м/с	туман
17.12.20	облачно	0	-3	есть	745	Ю-ЮЗ	5 - 6 м/с	11 м/с	туман
18.12.20	облачно	-5	-12	есть	756	С-СВ	2 - 5 м/с	11 м/с	нет
19.12.20	облачно	-10	-11	нет	759	Ю-ЮВ	4 - 6 м/с	12 м/с	нет
20.12.20	облачно	0	-7	есть	756	Ю-ЮЗ	5 м/с	10 м/с	туман
21.12.20	переменная	1	-1	нет	757	З-ЮЗ	4 - 5 м/с	10 м/с	туман
22.12.20	переменная	0	-2	нет	754	ЮЗ	4 - 6 м/с	12 м/с	нет
23.12.20	переменная	-1	-6	есть	752	Ю-ЮЗ	3 - 6 м/с	12 м/с	туман
24.12.20	облачно	-4	-7	есть	748	Ю	4 - 6 м/с	13 м/с	нет
25.12.20	облачно	-4	-6	есть	743	В-ЮВ	4 - 5 м/с	11 м/с	туман
26.12.20	облачно	-5	-7	есть	739	Ю-ЮВ	2 - 4 м/с	8 м/с	нет
27.12.20	с прояснениями	-7	-25	нет	750	З-СЗ	1 - 3 м/с	6 м/с	нет
28.12.20	ясно	-19	-28	нет	761	Ю-ЮВ	2 - 3 м/с	нет	нет
29.12.20	ясно	-16	-19	нет	760	ЮВ	3 - 6 м/с	11 м/с	нет

Гидрометцентр России является ведущим научно-исследовательским и оперативно-методическим учреждением Росгидромета в области гидрометеорологических прогнозов. Для погоды и климата не существует границ, поэтому поддержание национальной и международной инфраструктуры обмена данными гидрометеорологических наблюдений и прогнозов - необходимое условие для обеспечения функционирования системы гидрометеорологического обслуживания [4]. В системе Всемирной службы погоды Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) Гидрометцентр России обеспечивает выполнение международных обязательств Российской Федерации по международному обмену прогностической информацией и данными гидрометеорологических наблюдений и функционирует как:

- ◆ Мировой Метеорологический Центр (ММЦ-Москва);
- ◆ Региональный специализированный метеорологический центр в европейском регионе;
- ◆ Национальный центр по гидрометеорологическим прогнозам.

Главные задачи Гидрометцентра России: получение новых знаний о погодообразующих процессах в системе "атмосфера-океан-суша" и оперативное обеспечение населения страны, государственных и хозяйственных структур гидрометеорологической информацией, включая предупреждения о неблагоприятных и опасных явлениях погоды [4].

Основные направления исследований Гидрометцентра России включают:

- ◆ Фундаментальные и прикладные исследования гидрометеорологических процессов различного пространственно-временного масштаба, взаимодействия атмосферы с океаном, гидрологическими процессами на материках, криосферой и биосферой;
- ◆ Разработка и развитие физико-математических моделей природной среды (атмосферы, океана, внутренних вод суши и др.);

- ◆ Исследование предсказуемости гидрометеорологических процессов и развитие методов гидрометеорологических прогнозов различной заблаговременности, включая прогнозы опасных и гидрометеорологических явлений.
- ◆ Создание современных информационных технологий сбора, контроля, обработки гидрометеорологических данных (наземных, аэрологических, самолетных, морских, спутниковых) и выпуска прогностической и аналитической продукции.

Гидрометцентр России активно сотрудничает с академическими и ведущими вузовскими научными коллективами (МГУ, Институт вычислительной математики РАН, Институт физики атмосферы РАН и др.) [4]. Научные исследования Гидрометцентр России проводит в тесной кооперации с зарубежными метеорологическими организациями в рамках Всемирной службы погоды и других программ ВМО (Всемирная Программа Метеорологических Исследований, Всемирная Программа Исследования Климата, Международный Полярный Год и др.) [4], на основе Соглашений по двустороннему научно-техническому сотрудничеству с метеослужбами Германии, Индии, Китая, Польши, Республики Корея, Финляндии, Франции, а также в рамках Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ [4].

В прогнозе содержится информация о максимальной и минимальной температуре, осадках, направлении и скорости ветра, атмосферном давлении и облачности.

Данные с сайта Гидрометцентра России представлены в таблице 2.3 и получены за период с 30 ноября по 29 декабря 2020 года. В таблице можно узнать об облачности, максимальной и минимальной температуре за день, осадках, давлении, направлении и скорости ветра.

Таблица 2.3 - Фактические данные с сайта Гидрометцентра России

Число	Облачность	Т макс., ° С	Т мин., ° С	Осадки , мм	Давление , мм.рт.ст.	Направлени е ветра	Скорость ветра
30.11.20	облачно	1	-2	0.2-1.1	761	Ю-ЮВ	5 м/с
1.12.20	облачно	-1	-4	0.2-1.7	762	Ю	3 - 5 м/с
2.12.20	облачно	-3	-8	0	764	Ю	2 - 3 м/с
3.12.20	переменная	-6	-12	0	762	ЮВ	3 м/с
4.12.20	облачно	-6	-9	0-0.4	763	ЮВ	4 м/с
5.12.20	переменная	-2	-7	0	764	Ю	5 м/с
6.12.20	переменная	-5	-9	0	766	Ю-ЮЗ	4 м/с
7.12.20	переменная	-6	-12	0	768	ЮЗ	3 - 4 м/с
8.12.20	переменная	-8	-14	0	768	Ю	3 м/с
9.12.20	переменная	-10	-14	0	769	Ю	3 м/с
10.12.20	переменная	-8	-14	0	765	ЮВ	3 м/с
11.12.20	облачно	-7	-13	0	762	Ю	3 - 4 м/с
12.12.20	переменная	-8	-16	0	760	Ю	3 м/с
13.12.20	переменная	-8	-10	0.2-2.1	759	Ю-ЮВ	3 м/с
14.12.20	облачно	-5	-7	0.9-4.8	755	Ю	3 м/с
15.12.20	облачно	-5	-10	0.3-1.3	754	Ю-ЮЗ	2 м/с
16.12.20	облачно	-3	-4	0.2-4.1	750	Ю	3 - 4 м/с

Продолжение таблицы 2.3

Число	Облачность	Т макс., °С	Т мин., °С	Осадки, мм	Давление, мм.рт.ст.	Направление ветра	Скорость ветра
17.12.20	облачно	1	-9	0.1-1.8	748	З-СЗ	4 м/с
18.12.20	переменная	-5	-13	0	760	СВ-В-ЮВ	2 - 4 м/с
19.12.20	облачно	-9	-10	0.3-1.2	759	ЮВ-Ю	4 - 5 м/с
20.12.20	облачно	0	-2	0.1-0.8	757	ЮВ	4 м/с
21.12.20	облачно	1	-2	0-0.1	756	ЮВ	3 - 4 м/с
22.12.20	облачно	0	-3	0.1-0.4	754	ЮВ	3 - 5 м/с
23.12.20	облачно	-1	-7	0.2-1.2	751	Ю	4 - 5 м/с
24.12.20	облачно	-5	-6	0.2-0.8	748	ЮВ-Ю	4 м/с
25.12.20	облачно	-4	-7	3.1-5	743	В-ЮВ	3 - 5 м/с
26.12.20	облачно	-4	-11	0.3-2	740	ЮВ-З	1 - 2 м/с
27.12.20	переменная	-9	-21	0-0.1	755	З-СЗ	1 - 3 м/с
28.12.20	переменная	-15	-17	0	761	ЮВ	2 - 4 м/с
29.12.20	облачно	-13	-15	0-2.8	757	ЮВ	5 м/с

3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗОВ

3.1 Характеристики, используемые для оценки качества прогнозов

Прогнозы погоды общего назначения подлежат обязательной оценке с целью определения их успешности и совершенствования методик прогнозирования метеорологических величин и явлений погоды [5]. Оценка новых и усовершенствованных методик прогнозирования метеорологических величин и явлений погоды производится в соответствии с РД 52.27.284 [5].

Успешность сводок погоды определяется с помощью сопоставления прогнозируемых значений метеорологических элементов и прогноза (отсутствия прогноза) явлений погоды фактически наблюдавшимся значениям метеорологических элементов и явлениям погоды и расчета на основании сопоставления определенных статистических показателей. Самым главным критерием оценки успешности прогноза погоды является оправдываемость.

Прогноз всех метеорологических величин, кроме прогноза количества осадков, оценивается в альтернативной форме: «прогноз оправдался (оправдываемость прогноза 100 %)» или «прогноз не оправдался (оправдываемость прогноза 0 %)». Прогноз явления погоды оценивается в альтернативной форме по факту наличия или отсутствия явления: «прогноз оправдался (оправдываемость прогноза 100 %)» или «прогноз не оправдался (оправдываемость прогноза 0 %)». Оценке подлежит также явление погоды, которое не прогнозировалось, но наблюдалось (не предусмотренное явление погоды).

Прогноз погоды по пункту и территории оценивается отдельно для дня и ночи. Оправдываемость прогноза на сутки определяется как среднее значение оправдываемости прогнозов для дня и ночи.

3.1.1 Оправдываемость прогноза погоды

Для оценки успешности прогноза метеорологических величин и явлений погоды по территории, который дан без использования дополнительной градации, определяется оправдываемость прогноза $P_{тер}$, % по следующей формуле (3.1) с учетом руководящего документа (Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения, 2019 год) [5]:

$$P_{тер} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \quad (3.1)$$

где N - общее количество наблюдательных подразделений (НП);

P_i - оправдываемость прогноза погоды метеорологической величины (или явления погоды) по каждому наблюдательному подразделению, %.

Для оценки оправдываемости прогноза температуры воздуха сравнивают прогностические значения температуры воздуха (минимальной и максимальной) с фактическими значениями максимальной и минимальной температуры. Прогноз температуры воздуха можно считать оправдавшимся, если прогностические значения температуры воздуха отличаются от фактических не более, чем на 2 °С. Если фактическая температура отличается от прогностических значений более, чем на 2°С, то прогноз считается не оправдавшимся.

Для оценки успешности прогноза метеорологических величин и явлений погоды по территории с использованием дополнительной градации, оправдываемость $P_{тер}$, % рассчитывают по следующей формуле (3.2) [5]:

$$P_{тер} = \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^{n_{i0}} P_{i0} n_0 + \sum_{i=1}^{n_{i\partial}} P_{i\partial} n_{\partial}) \quad (3.2)$$

где P_{i0} - оправдываемость прогноза основной градации метеовеличины (или явления погоды) по каждому наблюдательному подразделению, %;

n_0 - количество наблюдательных подразделений, данные из которых используются для оценки основной градации;

$P_{i\partial}$ - оправдываемость прогноза дополнительной градации метеовеличины (или явления погоды) по каждому наблюдательному подразделению, %;

n_{∂} - количество наблюдательных подразделений, данные из которых используются для расчета оценки дополнительной градации.

Для определения успешности прогноза погоды в целом рассчитывается их общая оправдываемость метеорологических величин и явлений погоды отдельно по пункту и по территории. Общая оправдываемость рассчитывается как среднее значение оправдываемостей прогнозов погоды по пункту по формуле 3.3 [5]:

$$P = \frac{1}{4}(P_t + P_{pr} + P_{я} + P_w) \quad (3.3)$$

где P_t - оправдываемость прогноза погоды температуры;

P_{pr} - оправдываемость прогноза погоды количества осадков;

$P_{я}$ - оправдываемость прогноза явления (явлений) погоды;

P_w - оправдываемость прогноза погоды скорости ветра.

Если в наблюдательном пункте прогнозировалось и/или наблюдалось не одно явление погоды, то оправдываемость прогноза явлений погоды ($P_{я}$) рассчитывается как средняя оправдываемость прогноза явлений погоды. Если явления погоды не прогнозировались и не наблюдались, то слагаемое оправдываемости явлений погоды убирается из формулы общей оправдываемости и сумма оправдываемости в скобках делится на число 3.

3.1.2 Абсолютная и относительная погрешность измерения

Абсолютная погрешность - это разность между истинным значением и измеренным значением метеорологической величины. Получившееся значение абсолютной погрешности может быть и положительным, и отрицательным, результат зависит от того уменьшено или увеличено измеренное значение по отношению к истинному.

Относительная погрешность - это отношение абсолютной погрешности к истинному значению или к результату измерения, чаще всего выражается в процентах.

3.1.3 Коэффициент корреляции, дисперсия и коэффициент вариации

Корреляция - взаимосвязь нескольких случайных метеовеличин. При расчете коэффициента корреляции определяют наличие или отсутствие статистической связи между несколькими величинами. Коэффициент корреляции характеризует величину отражающую степень взаимосвязи нескольких метеорологических величин между собой. Этот коэффициент принимает значения в пределах от -1 до 1. Если коэффициент корреляции равен 0, то корреляционной связи между величинами нет. Чем ближе коэффициент корреляции к 1 (или -1), тем сильнее связь.

Дисперсия случайной величины - это мера разброса (рассеяния) значений случайной величины относительно её математического ожидания (среднего значения). Определяется по формуле 3.4 [6]:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x_{\text{ср}} - x)^2 f(x) dx \quad (3.4)$$

где x - это метеорологическая величина.

Коэффициент вариации (или относительное стандартное отклонение) - это величина, равная отношению стандартного (среднеквадратичного) отклонения случайной величины к ее математическому ожиданию (среднему значению). Используется для сравнения вариативности одного и того же элемента в нескольких совокупностях.

3.1.4 Матрица сопряженности

На основании имеющегося ряда статистически обеспеченных категорических прогнозов и данных фактических наблюдений строится матрица сопряженности условий прогноз-факт и полученные частоты сопряжения выражаются в вероятностной форме. Матрица сопряженности является обобщенной формой представления реализации прогноза погоды.

В виде матрицы сопряженности представляется информация о прогнозируемых и фактических условиях погоды за выбранный отрезок

времени (месяц, сезон, год). Она содержит число случаев (n_{ij}) соответствия этих условий ($\Pi_j - \Phi_i$). Выборка прогностической информации о погоде (Π_j) и сопоставление их с фактической погодой (Φ_i) производится на основании оперативных синоптических журналов (или иных форм представления прогнозов).

Таблица 3.1 - Общий вид матрицы сопряженности

Фактически наблюдалось, Φ_i	Прогнозировалось, Π_i		Σ
	Π - наличие явления	$\bar{\Pi}$ - отсутствие явления	
Φ - явление наблюдалось	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\bar{\Phi}$ - явление не наблюдалось	n_{21}	n_{22}	n_{20}
Σ	n_{01}	n_{02}	N

Матрица сопряженности имеет вид матрицы размером $m \times n$, которая содержит: два прогностических условия ($m=2$): «явление прогнозируется» (Π) или «не прогнозируется» ($\bar{\Pi}$) и два условия исхода ($n=2$): «явление было» (Φ), или «не было» ($\bar{\Phi}$). Общий вид матрицы сопряженности (оправдываемости) альтернативных прогнозов представлен в таблице 3.1

В таблице 3.1 сопряженность «прогноз-факт» выражена числом случаев n_{ij} .

Первая цифра при n – номер строки (i), вторая – номер столбца (j).

Π_j - прогноз данной градации.

Φ_i - фактическая погода той же градации.

n_{ij} определяется по условию: что ожидалось по прогнозу (Π_j) и что фактически наблюдалось (Φ_i) или n_{ij} – число случаев сопряженности $\Pi_j - \Phi_i$.

Соответствующие сочетания «прогноза» и «факта» характеризуют следующее:

- n_{11} - число случаев оправдавшихся прогнозов наличия явления - явление прогнозировалось П и наблюдалось Ф.
- n_{21} - число случаев неоправдавшихся прогнозов наличия явления -явление прогнозировалось П, но не наблюдалось Ф.
- n_{12} - число случаев неоправдавшихся прогнозов отсутствия явления - явление (или состояние погоды) не прогнозировалось П , но фактически наблюдалось Ф.
- n_{22} - число случаев оправдавшихся прогнозов отсутствия явления -явление не прогнозировалось П и фактически не наблюдалось Ф.
- Здесь n_{12} - ошибки первого рода - ошибки пропуски; n_{21} - ошибки второго рода - ошибки страховки.
- n_{01} - число случаев прогнозов наличия явления - число прогнозов с текстом П.
- n_{02} - число случаев прогнозов отсутствия явления - число прогнозов с текстом П.
- n_{10} - число случаев наличия явления - столько раз явление фактически наблюдалось Ф.
- n_{20} - число случаев отсутствия явления - столько раз явление фактически не наблюдалось Ф.
- N - общее число прогнозов.

4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА ДЛЯ Г.ВОЛОГДА

Синоптический метод прогнозирования основан на анализе карт погоды (синоптических карт). Синоптические карты - это географические карты, на которых с помощью соответствующих символов и цифр отображается состояние погоды. Наблюдая за изменениями состояния атмосферы на обширной территории можно определить вероятные изменения погодных условий в определённом районе, а также узнать возможные изменения величин и сопутствующие им появления атмосферных явлений. Задачей синоптика является расчёт траектории движения частицы воздуха, которая переносит свойства воздушной массы. Синоптический метод позволяет дать достоверный прогноз не более, чем на 1 сутки, для более долгосрочного прогноза используют гидродинамический метод.

Гидродинамический прогноз - это прогноз полей метеорологических величин, основанный на решении уравнений гидродинамики атмосферы, описывающих процессы в атмосфере, с использованием численных методов математического моделирования.

На рисунке 4.1 представлены результаты прогноза по трем исследуемым сайтам: Гидрометцентр России (Метеоинфо), ВСГМС и РР5.

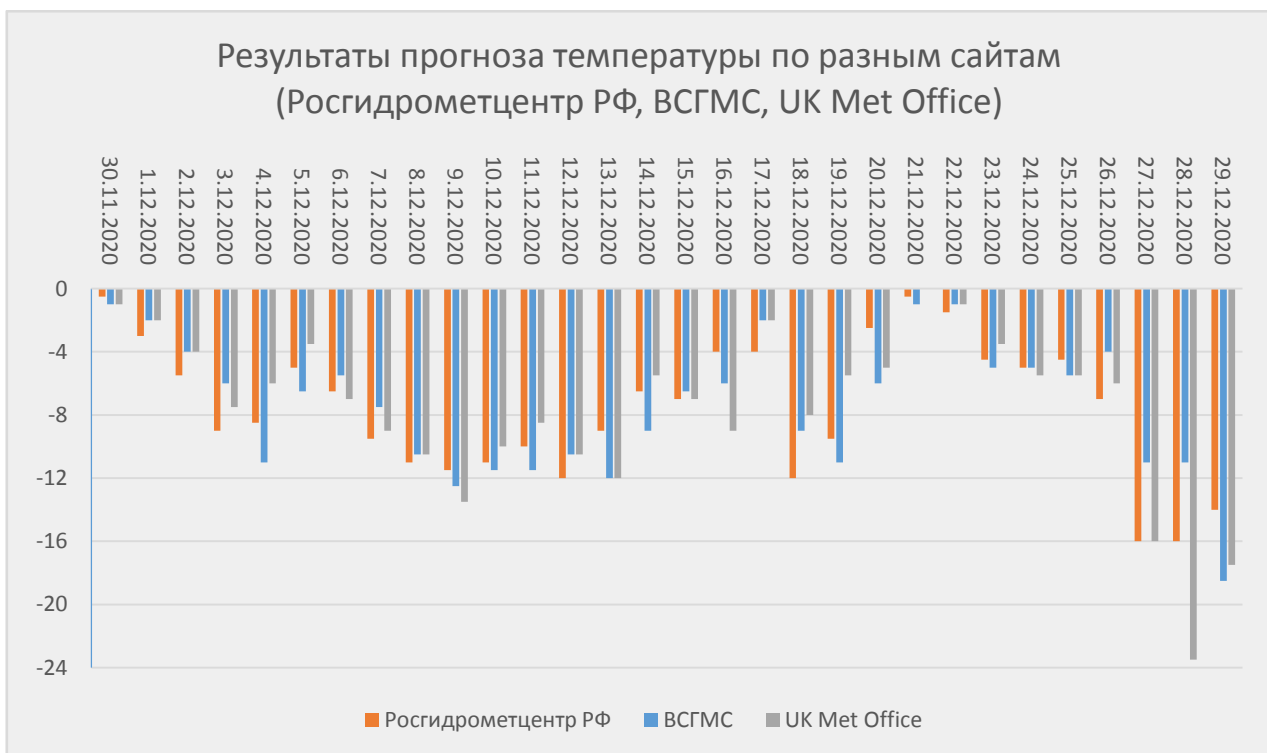


Рисунок 4.1 - Результаты прогноза температуры по трем разным сайтам

На рисунке 4.1 видно, что синоптические прогнозы ВСГМС и гидродинамические прогнозы UK Met Office (сайт "Расписание погоды") 30 ноября, 1, 2, 8, 12, 13, 17, 22 и 25 декабря полностью совпадают. Прогнозы по модели Росгидрометцентра РФ отличается от других во все время исследования, совпадение есть только 24 декабря с прогнозом Вологодского центра (ВСГМС). Максимальное различие было 27 декабря 2020 года: прогноз Вологодского центра (ВСГМС) превышал прогноз UK Met Office (сайт "Расписание погоды") на 12,5 °С.

На рисунке 4.2 графически отображены прогностические и фактические значения минимальной температуры по сайту Гидрометцентра России.

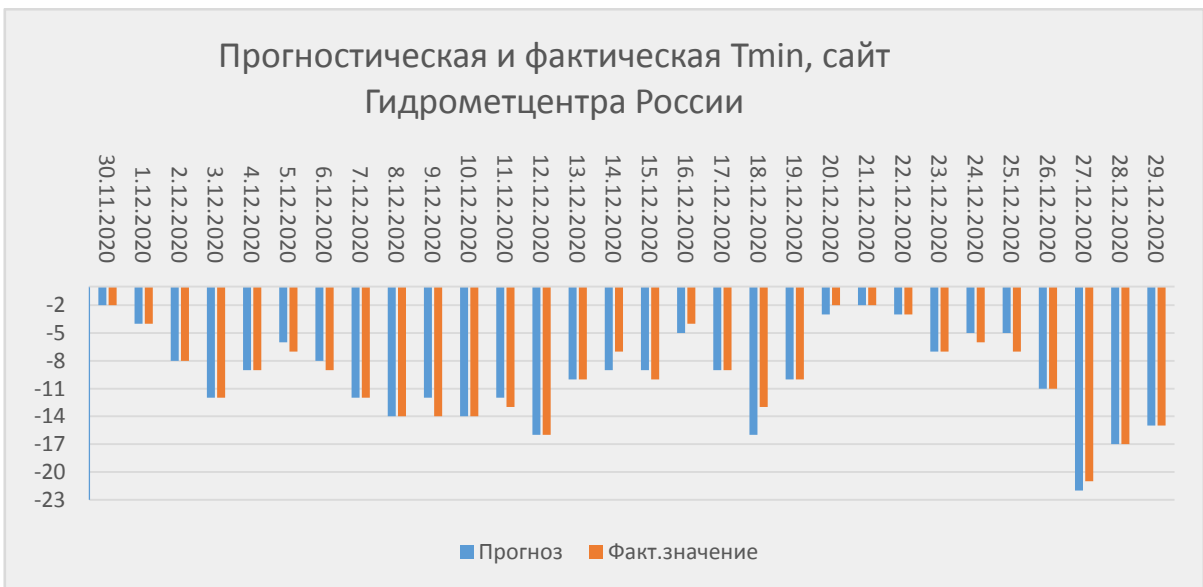


Рисунок 4.2 - Прогностические и фактические минимальные температуры по сайту Гидрометцентра России

Прогностические и фактические значения минимальной температуры отличаются друг от друга несильно, максимальная разница заметна 18 декабря 2020 года и составляет 3°C.

На рисунке 4.3 графически представлены прогностические и фактические значения максимальной температуры по сайту Гидрометцентра России.

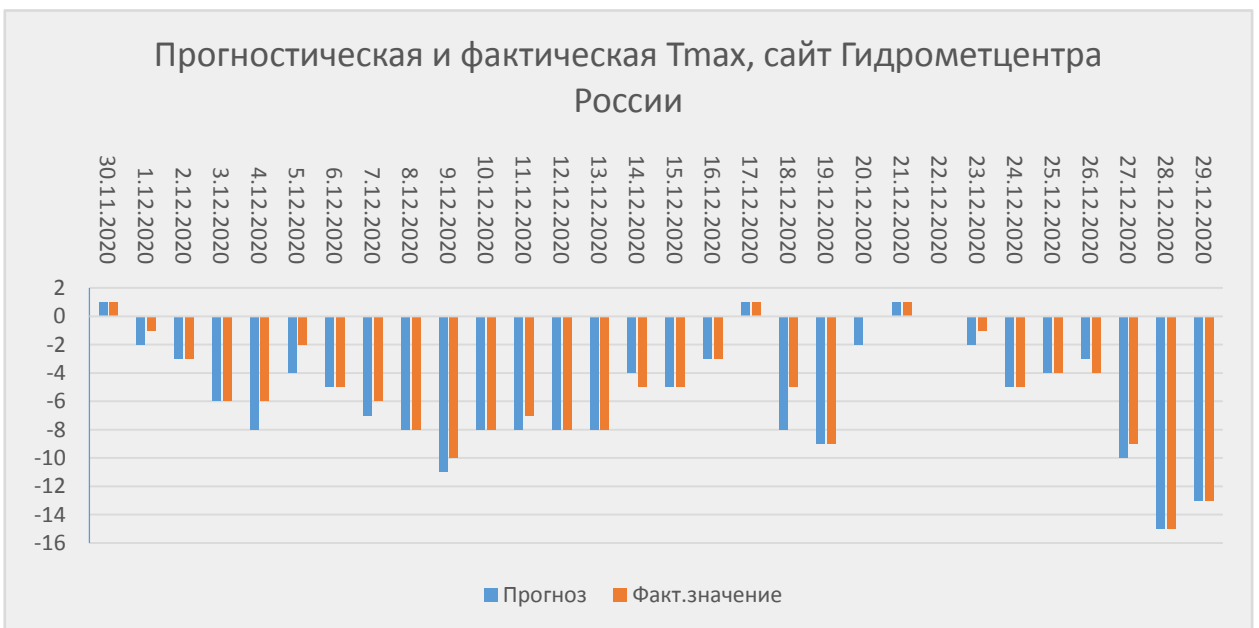


Рисунок 4.3 - Прогностические и фактические максимальные температуры по сайту Гидрометцентра России

Из данных представленных на рисунке 4.3 видно, что максимальное различие наблюдалось 18 декабря 2020 года и составляло 3 °С.

На рисунке 4.4 представлено отклонение прогностических значений максимальной и минимальной температуры от фактических по сайту Гидрометцентра России.

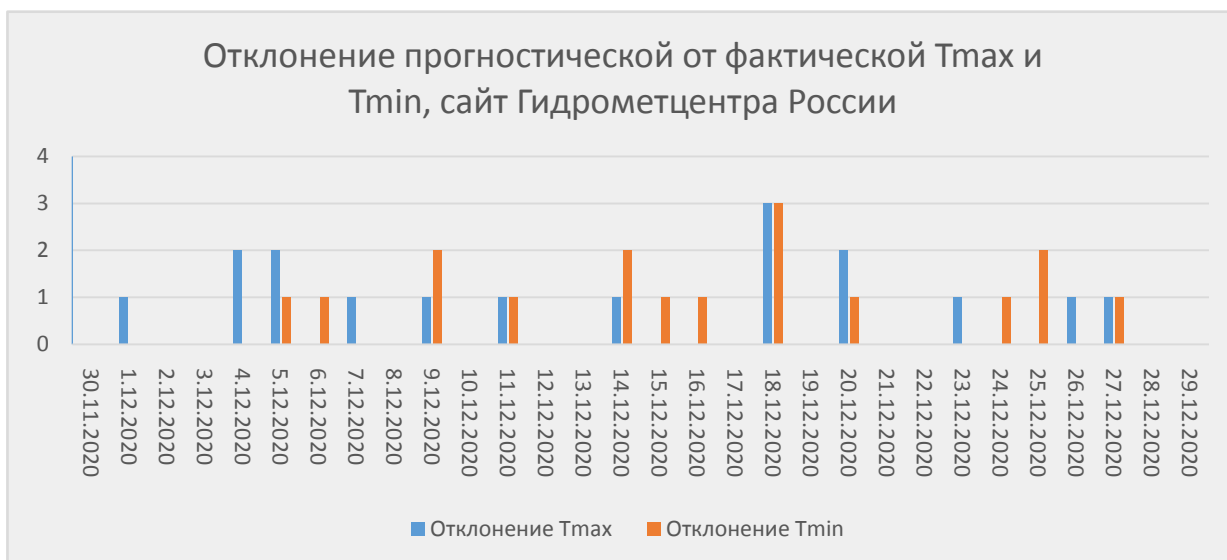


Рисунок 4.4 - Отклонение прогностической от фактической максимальной и минимальной температуры по сайту Гидрометцентра России

Из результатов представленных на рисунке 4.4 видно, что ошибка в прогнозе минимальной температуры изменяется от 1 до 3 °С, максимальная ошибка в прогнозе максимальной и минимальной температуры отмечается 18 декабря 2020 года по сайту Гидрометцентра России.

На рисунке 4.5 графически отображены прогностические и фактические значения минимальной температуры по сайту ВСГМС.

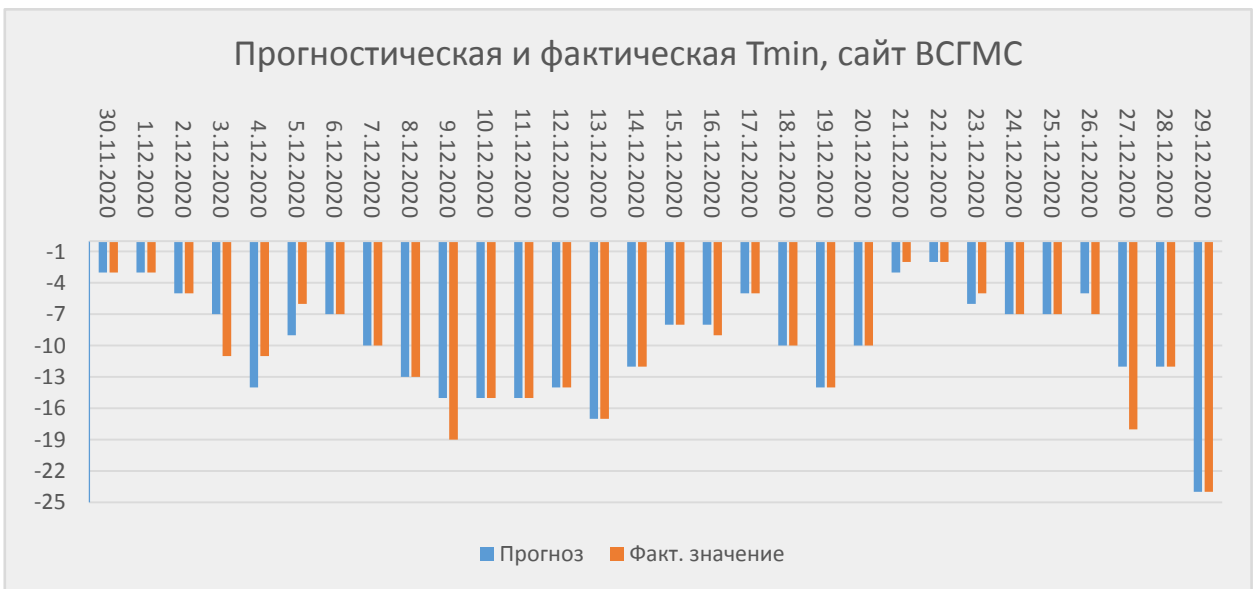


Рисунок 4.5 - Прогностические и фактические минимальные температуры по сайту ВСГМС

Прогностические и фактические значения минимальной температуры по прогнозу Вологодского центра (ВСГМС) за все время исследования практически совпадают, максимальная разница наблюдается 4, 9 и 27 декабря 2020 года и составляет 3°C, 4°C и 6°C соответственно.

На рисунке 4.6 графически отображены прогностические и фактические значения максимальной температуры по сайту ВСГМС.

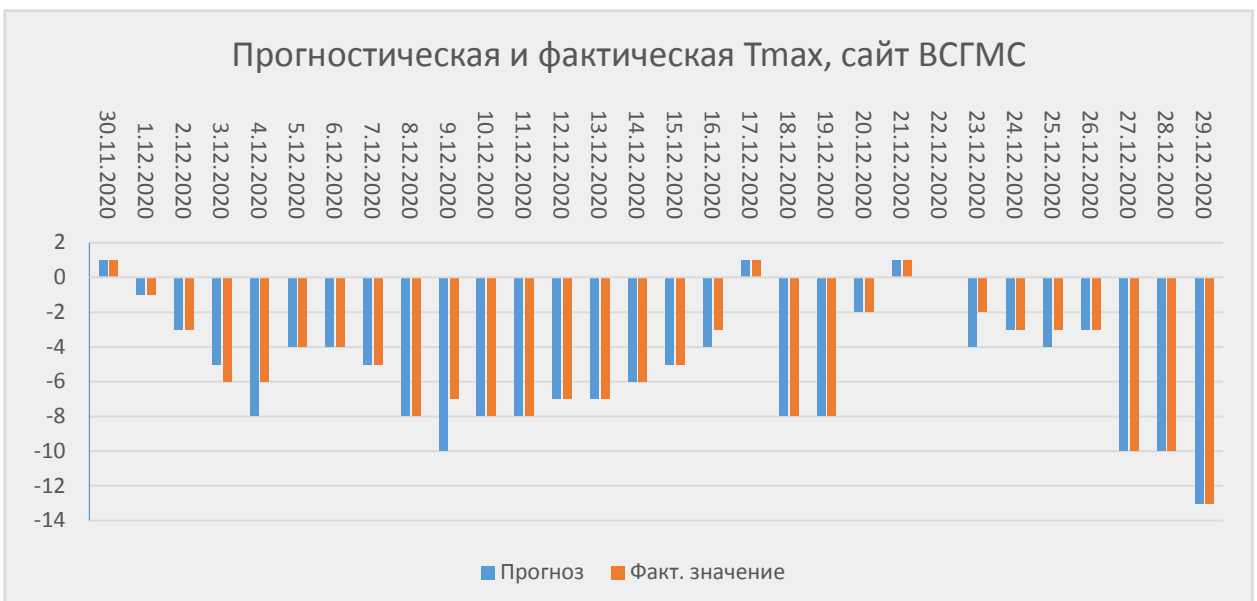


Рисунок 4.6 - Прогностические и фактические максимальные температуры по сайту ВСГМС

Из рисунка 4.6 видно, что максимальное различие наблюдалось также 9 декабря 2020 года.

На рисунке 4.7 представлено отклонение прогностических значений максимальной и минимальной температуры от фактических по сайту ВСГМС.

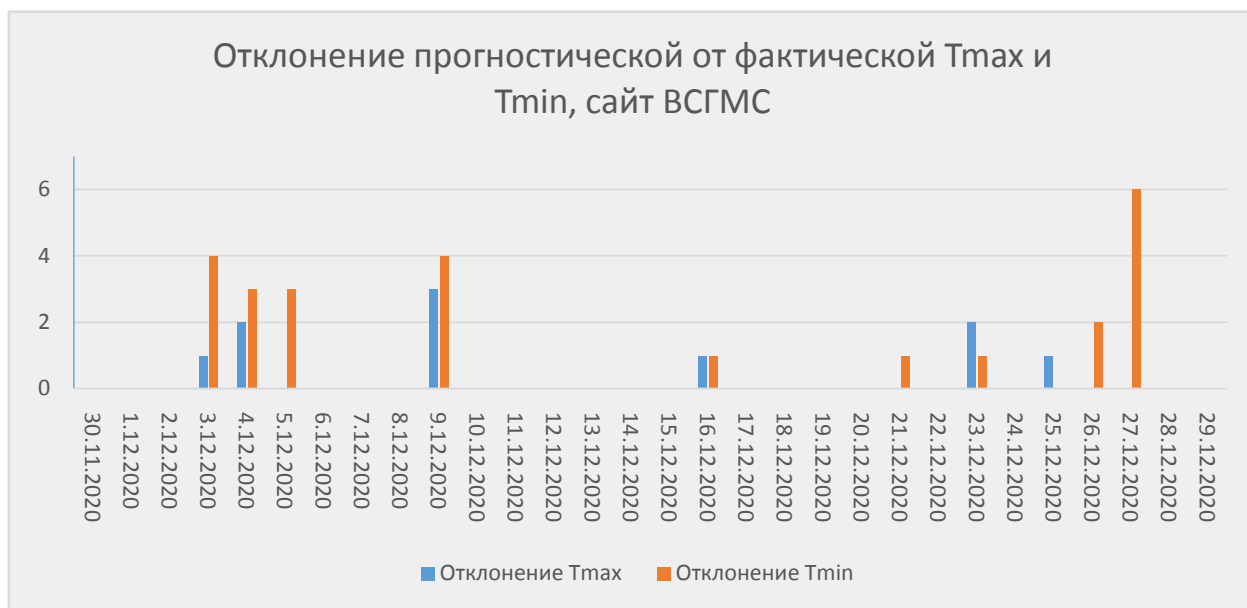


Рисунок 4.7 - Отклонение прогностической от фактической максимальной и минимальной температуры по сайту ВСГМС

Рисунок 4.7 подтверждает максимальное отклонение максимальной и минимальной прогностической температуры от фактической 9 декабря 2020 года по сайту ВСГМС. Также видно, что 27 декабря 2020 года отклонение прогностической минимальной температуры от фактической составляет 6 °С.

На рисунке 4.8 графически отображены прогностические и фактические значения минимальной температуры по сайту РП5.

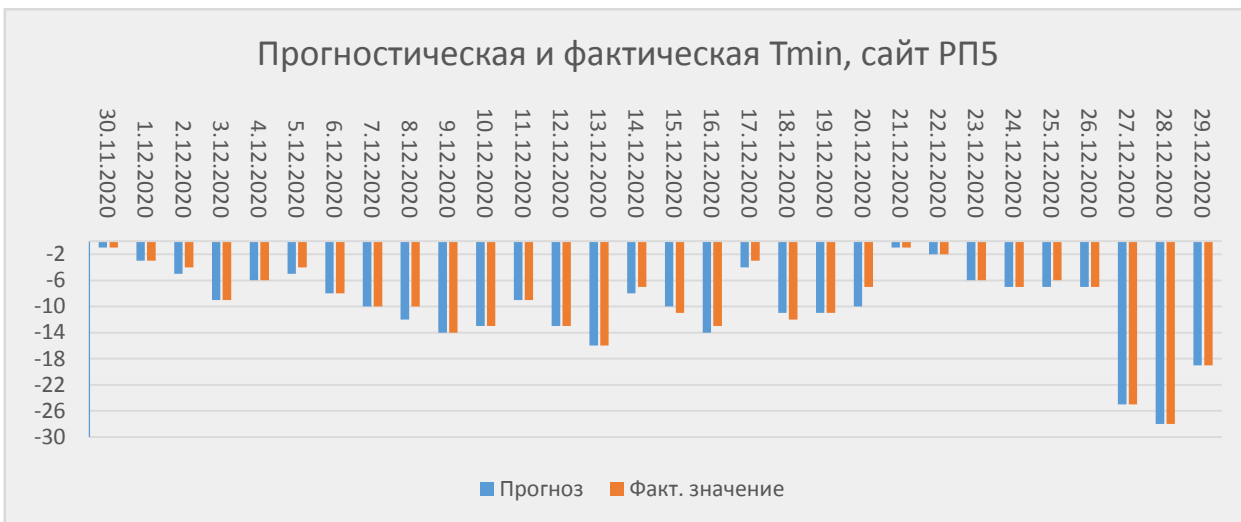


Рисунок 4.8 - Прогностические и фактические минимальные температуры по сайту РП5

На рисунке 4.8 прогностическая минимальная температура незначительно отличается от фактической на 1°C. Максимальное отличие наблюдается 8 декабря и составляет 2°C.

На рисунке 4.9 графически отображены прогностические и фактические значения максимальной температуры по сайту РП5.

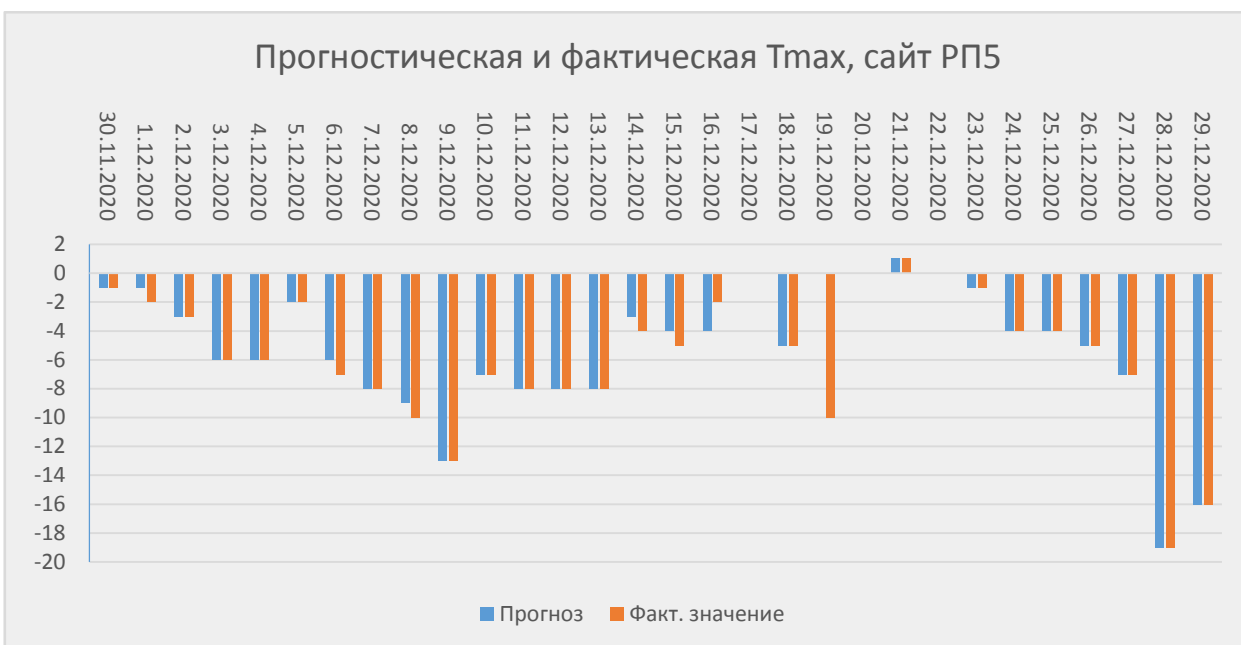


Рисунок 3.9 - Прогностические и фактические максимальные температуры по сайту РП5

В отличие от минимальной температуры, прогностическая максимальная температура отличается от фактической 19 декабря 2020 года. Это отличие составляет 10 °С.

На рисунке 4.10 представлено отклонение прогностических значений максимальной и минимальной температуры от фактических по сайту РП5.

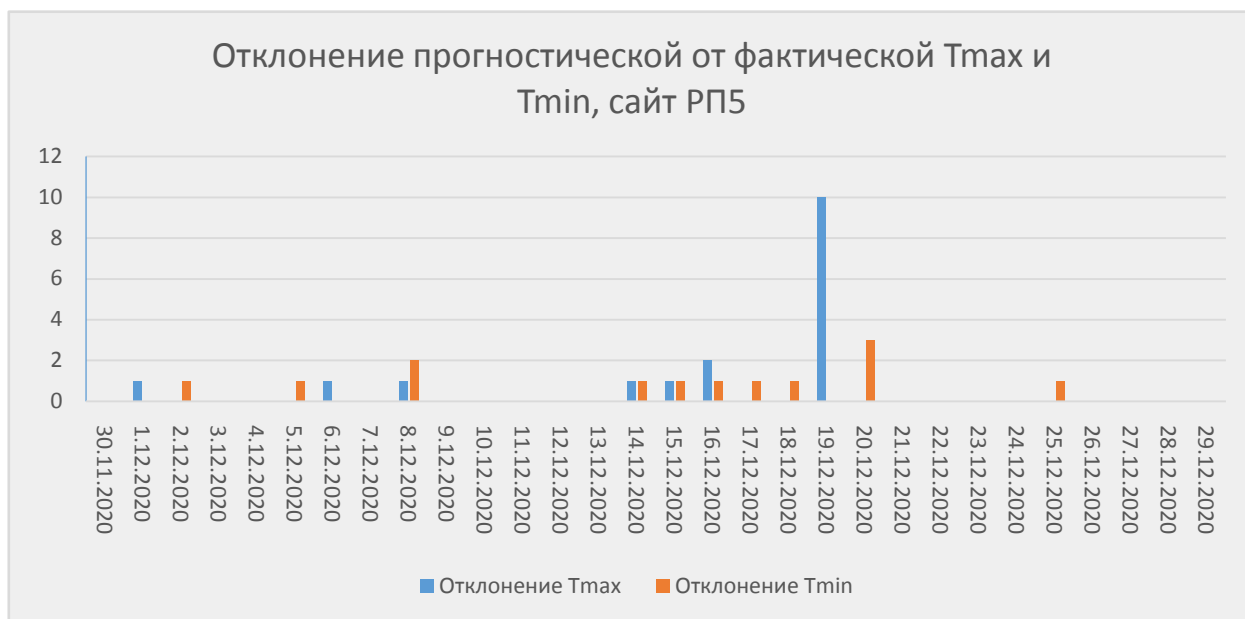


Рисунок 4.10 - Отклонение прогностической от фактической максимальной и минимальной температуры по прогнозу UK Met Office (РП5)

Как было отмечено ранее, максимальное отклонение прогностической максимальной температуры от фактической наблюдается 19 декабря 2020 года.

4.1 Оценка статистических характеристик прогноза

По полученным результатам составлена таблица (таблица 4.1), в которой отображены средние абсолютные и относительные ошибки по всем трем прогнозам. Абсолютная погрешность посчитана по формуле 4.1, относительная погрешность по формуле 4.2.

$$\overline{X_{\text{абс}}} = \frac{\sum(X - X_{\text{факт}})}{n} \quad (4.1)$$

$$\overline{X_{\text{отн}}} = \sum \frac{X_{\text{абс}}}{X_{\text{факт}}} / n \quad (4.2)$$

Таблица 4.1 - Средние абсолютные [в долях] и относительные [в долях] ошибки прогноза температуры

Средние ошибки по прогнозу Росгидрометцентра РФ			
Т min		Т max	
Абсолютная	Относительная	Абсолютная	Относительная
0,03	0,009	4,03	-0,27
Средние ошибки по прогнозу ВСГМС			
0,3	0,006	-0,26	0,08
Средние ошибки по прогнозу РР5			
-0,3	0,06	0,43	-0,04

Абсолютная погрешность показывает разницу между фактическим и прогностическим значениями температуры. Положительные числа говорят о более частом завышении прогностического значения по отношению к фактическому.

Относительная погрешность показывает отношение абсолютной погрешности к фактическому значению, выражено в долях.

Проанализировав все полученные оценки прогнозов, можно сделать вывод о том, что ошибки прогноза Гидрометцентра России максимальной температуры воздуха содержат самую большую значение, а прогнозы минимальной температуры самые качественные - ошибка минимальна.

В прогнозах ВСГМС абсолютная погрешность T_{\min} примерно равна абсолютной погрешности T_{\max} , а вот относительная погрешность T_{\min} на порядок меньше, чем погрешность T_{\max} .

В прогнозах РП5 все значения ошибок находятся в пределах от 0,04 до 0,43 по модулю, самое большое значение имеет абсолютная ошибка максимальной температуры.

Проанализировав результаты прогноза на предмет абсолютной и относительной ошибки, можно сделать вывод о том, что более качественный прогноз дает Вологодский центр (ВСГМС), так как все ошибки находятся в пределах от 0,006 до 0,26 по модулю.

Еще одна статистическая характеристика - коэффициент корреляции фактического и прогностического значения температуры рассчитан по (4.3) [7]. Коэффициент корреляции помогает оценить статистическую связь между рядами прогностических и фактических значений температуры воздуха. Чем ближе коэффициент корреляции к 1, тем больше связь.

$$R = \sum(X_i - X_{cp1})(X_{i+1} - X_{cp2})/n\delta_1\delta_2 \quad (4.3)$$

где δ_1 и δ_2 - дисперсия (формула 3.4)

Коэффициент вариации считается по формуле 4.4 [7].

$$C = \delta/X_{cp} \quad (4.4)$$

Рассчитанный коэффициент корреляции больше 0,9 по всем величинам, это значит, что характеристики статистически связаны.

Таблица 4.2 - Коэффициент корреляции для прогноза минимальной и максимальной температуры корреляции, R

Коэффициент корреляции для прогноза минимальной и максимальной температуры корреляции, R					
Гидрометцентр		ВСГМС		UK Met Office	
Rmin	Rmax	Rmin	Rmax	Rmin	Rmax
0,97	0,98	0,95	0,98	0,99	0,92

Для практической оценки статистической значимости коэффициента корреляции, который характеризует не только статистическую связь, но и отличие структуры временного ряда от случайной структуры, используют статистику t-распределения (4.5) [7] - критерий Стьюдента

$$t = R\sqrt{(n - 2) / \sqrt{[1 - R^2]}} \quad (4.5)$$

В таблице 4.3 представлены результаты оценки t-распределения по трем исследуемым прогнозам.

Таблица 4.3 - Статистика t-распределения температуры

t - распределение					
Гидрометцентр		ВСГМС		UK Met Office	
t - min	t - max	t - min	t - max	t - min	t - max
23,4	25,6	23,7	15,4	12,4	42,6

Критические значения статистики $t_{кр}$ являются табличными [7]. Если t больше $t_{кр}$, то нулевая гипотеза отклоняется. Нулевая гипотеза - это принимаемое по умолчанию предположение о том, что не существует связи между двумя рядами величин. При уровне значимости 5% $t_{кр} = 0,367$, все рассчитанные значения t больше, чем $t_{кр}$, а это значит, что полученные коэффициенты корреляции значимы на уровне значимости 5%.

В таблице 4.4 представлены результаты расчета коэффициента вариации максимальной и минимальной температуры для всех исследуемых прогнозов.

Коэффициент вариации помогает степень изменчивости метеорологической величины по отношению к среднему показателю прогностического ряда. Из анализа данных таблицы 4.4 можно отметить, что самый маленький коэффициент вариации ряда минимальной температуры имеет прогноз Росгидрометцентра, а ряда максимальной температуры прогноз ВСГМС.

Самые большие значения коэффициента вариации рядов минимальной и максимальной температуры прогноз UK Met Office. Это говорит о том, что самую маленькую изменчивость в ряде данных имеет прогноз ВСГМС, а самую большую прогноз UK Met Office.

Таблица 4.4 - Коэффициент вариации для минимальной и максимальной температуры

Коэффициент вариации, С					
Гидрометцентр		ВСГМС		UK Met Office	
T max	T min	T max	T min	T max	T min
-2,96	-2,55	-2,51	-2,60	-4,27	-4,05

Оценим оправдываемость температуры воздуха по всем исследуемым прогнозам. Для этого нужно сравнить прогностические и фактические значения температуры, если они отличаются больше, чем на 2 °С, то прогноз не оправдался ($P = 0$). Чтобы сравнить фактические и прогностические значения максимальной и минимальной температуры воспользуемся данными, представленными на рисунках 4.4, 4.7, 4.10.

Из анализа графика рисунка 4.4 видно, что прогноз Гидрометцентра РФ (сайт Метеоинфо) по максимальной и по минимальной температуре не оправдался 18 декабря 2020 года.

Данные рисунка 4.7 показывают, что прогноз ВСГМС по максимальной температуре прогноз не оправдался 9 декабря 2020 года, а по минимальной температуре 3, 9 и 27 декабря 2020 года.

По графику рисунка 4.10 видно, что прогноз UK Met Office (сайт "Расписание погоды") по максимальной температуре прогноз не оправдался 19 декабря 2020 года, а по минимальной 20 декабря 2020 года.

Во все остальные дни оправдываемость прогноза температуры воздуха (минимальной и максимальной) равна 100%.

Оценим синоптическую ситуацию в те дни, когда в прогнозах погоды наблюдались максимальные ошибки. На синоптических картах, представленных на рисунках 4.11 -4.14, г. Вологда отмечена красной точкой.

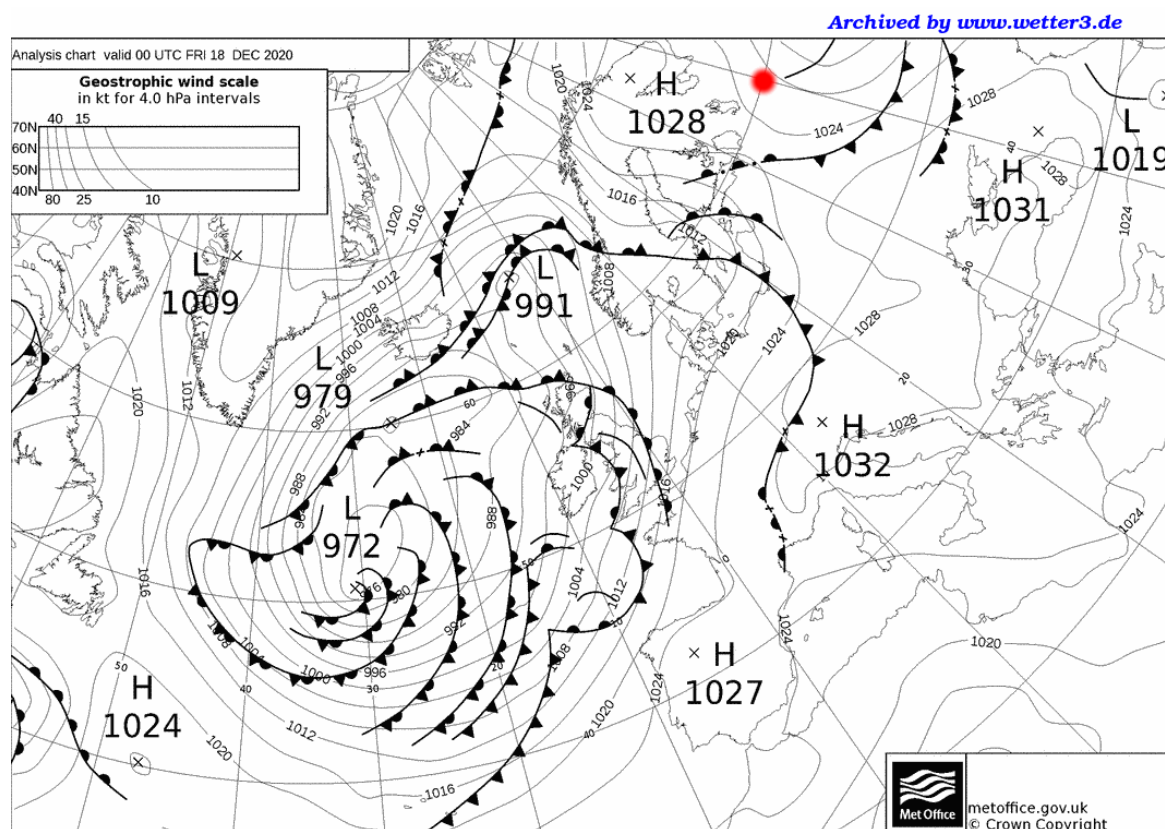


Рисунок 4.11 - Синоптическая карта 18.12.20 00ч UTC

В прогнозе Гидрометцентра России (сайт Метеоинфо) максимальная ошибка наблюдается 18 декабря 2020 года (рисунок 4.11). В этот день синоптическая ситуация определялась гребнем антициклона: переменная облачность и небольшие отрицательные температуры воздуха.

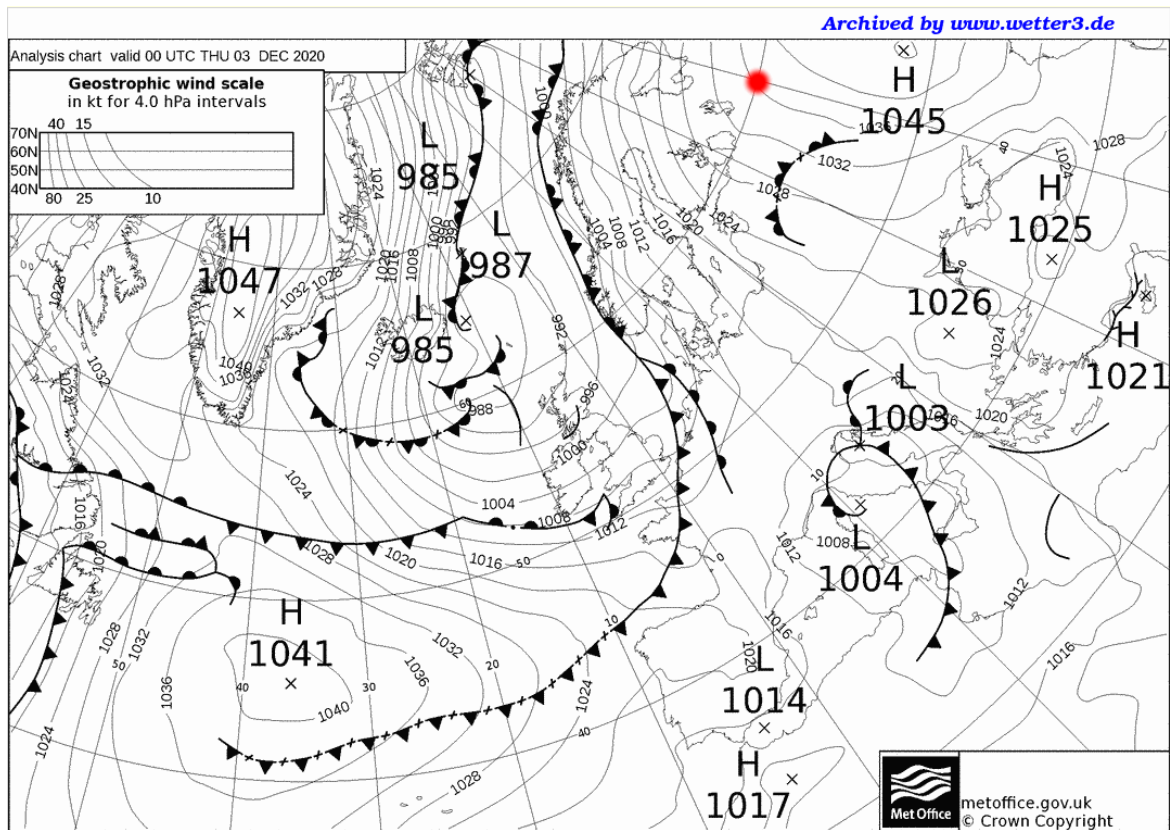


Рисунок 4.12 - Синоптическая карта 3.12.20 00ч UTC

Прогноз ВСГМС содержит большие ошибки в прогнозах 3 и 9 декабря 2020 года (рисунки 4.12 - 4.13). 3 декабря 2020 года погода над г. Вологда и Вологодской областью обуславливалась периферией антициклона. 9 декабря 2020 года погода также была обусловлена антициклоном, давление в центре выросло, но он никуда не сместился.

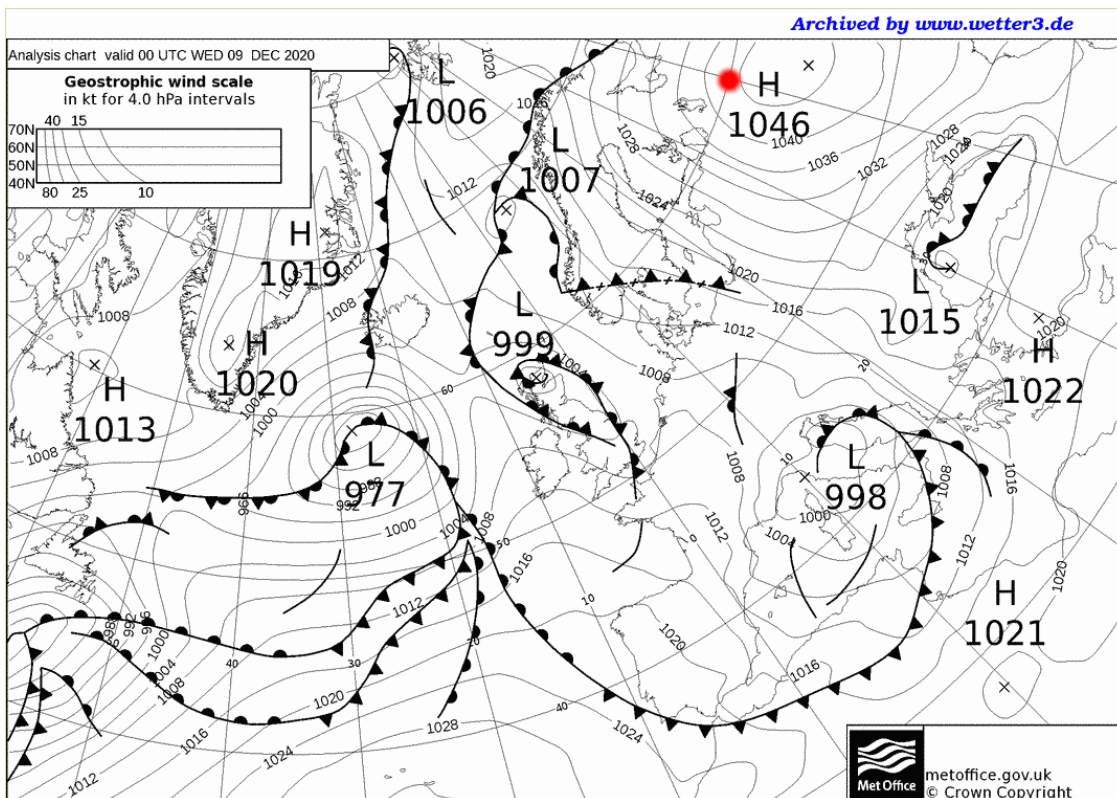


Рисунок 4.13 - Синоптическая карта 9.12.20 00ч UTC

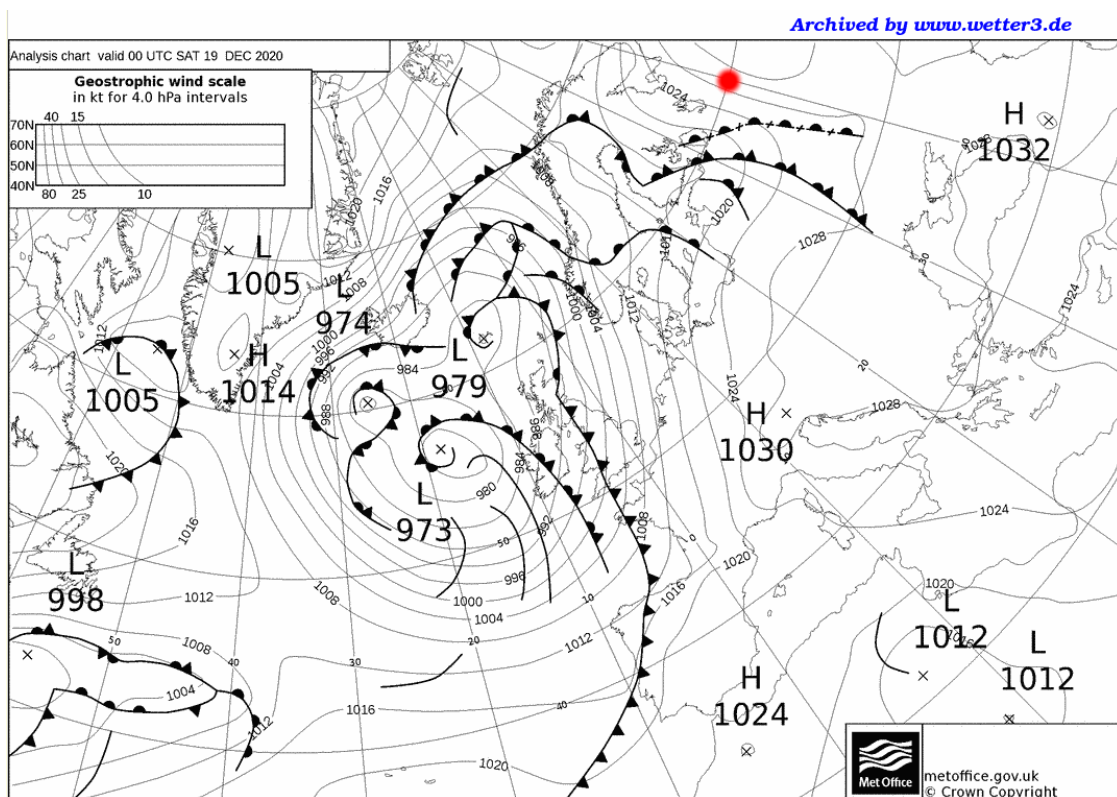


Рисунок 4.14 - Синоптическая карта 19.12.20 00ч UTC

Прогнозы UK Met Office (сайт rp5.ru) содержали самые большие ошибки 19 декабря 2020 года. В этот день Вологодская область находилась под влиянием антициклона и гребня холода с фронтальной системой от молодого циклона.

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что самые большие ошибки наблюдаются в прогнозах при наличии антициклонов.

4.2 Оценка прогнозов с использованием матрицы сопряженности

По прогностическим данным трех исследуемых прогнозов (Росгидрометцентр, ВСГМС и UK Met Office) построена матрица сопряженности для представления реализации прогноза погоды максимальной и минимальной температуры с 30 ноября 2020 года по 29 декабря 2020 года.

В таблице 4.5 представлено две матрицы сопряженности прогноза погоды Гидрометцентра РФ: по максимальной и минимальной температуре воздуха.

Таблица 4.5 - Матрицы сопряженности прогноза температуры

Гидрометцентра РФ

Максимальная температура, °С					
		П, °С			
		-15 до -10	-9 до -4	-3 до 1	Сумма
Ф, °С	-15 до -10	3	0	0	3
	-9 до -4	1	15	1	17
	-3 до 1	0	1	9	10
	Сумма	4	16	10	30
Минимальная температура, °С					
		П, °С			
		-22 до -16	-15 до -8	-7 до -2	Сумма
Ф, °С					

	-22 до -16	3	0	0	3
	-15 до -8	1	15	0	16
	-7 до -2	0	1	10	11
	Сумма	4	16	10	30

Весь временной прогностический ряд разбит на 3 градации по температуре. Матрица сопряженности показывает сколько было несоответствий прогноза (П) и факта (Ф) за все время.

Исходя из анализа таблицы 4.5, можно сделать вывод о том, что по максимальной температуре в градации от -15°C до -10° было 3 дня соответствия П и Ф, 1 день прогнозировалась температура от -15° до -10° , но по факту было от -9° до -4° и не было дней, когда прогнозировалась температура от -15° до -10° , но по факту было от -3° до 1° .

В градации от -9° до -4° не было дней, когда прогнозировалось от -9° до -4° , а было от -15° до -10° , 15 дней прогноз соответствовал факту и 1 день, когда прогнозировали от -9° до -4° , а по факту было от -3° до 1° .

В градации от -3° до 1° один день прогнозировали от -3° до 1° , а по факту было от -9° до -4° и 9 дней прогноз соответствовал факту.

По минимальной температуре в градации от -22° до -16° было 3 дня соответствия П и Ф, 1 день прогнозировалась температура от -22° до -16° , но по факту было от -15° до -8° и не было дней, когда прогнозировалась температура от -22° до -16° , но по факту было от -7° до -2° .

В градации от -15° до -8° не было дней, когда прогнозировалось от -15° до -8° , а было от -22° до -16° , 15 дней прогноз соответствовал факту и 1 день, когда прогнозировали от -15° до -8° , а по факту было от -7° до -2° .

В градации от -7° до -2° все прогнозы соответствовали факту.

В таблице 4.6 представлено две матрицы сопряженности прогноза погоды ВСГМС: по максимальной и минимальной температуре воздуха. Ряд прогностических и фактических данных также разбит на 3 градации по температуре.

Таблица 4.6 - Матрицы сопряженности прогноза температуры ВСГМС

Максимальная температура, °С					
		П, °С			
Ф, °С		-13 до -9	-8 до -4	-3 до 1	Сумма
	-13 до -9	3	0	0	3
	-8 до -4	1	14	0	15
	-3 до 1	0	3	9	12
Сумма	4	17	9	30	
Минимальная температура, °С					
		П, °С			
Ф, °С		-24 до -17	-16 до -10	-9 до -2	Сумма
	-24 до -17	2	2	0	4
	-16 до -10	0	11	1	12
	-9 до -2	0	0	14	14
Сумма	2	13	15	30	

По прогнозам ВСГМС максимальной температуре в градации от -13° до -9° было 3 дня соответствия прогноза и факта, один день прогнозировалось от -13° до -9° , но по факту было от -8° до -4° .

В градации от -8° до -4° было 14 дней соответствия прогноза и факта и 3 дня прогнозировалась температура от -8° до -4° , но по факту было от -3° до 1° .

В градации от -3° до 1° все прогнозы температуры соответствовали прогностическому значению.

По прогнозам ВСГМС минимальной температуре в градации от -24° до -17° все прогнозы соответствовали факту.

В градации от -16° до -10° два дня прогнозировалось от -16° до -10° , но по факту было от -24° до -17° и 11 дней прогноз соответствовал факту.

В градации от -9° до -2° один день прогнозировалось от -9° до -2° , но по факту было от -16° до -10° и 14 дней прогноз соответствовал факту.

В таблице 4.7 представлено две матрицы сопряженности прогноза UK Met Office (сайт "Расписание погоды") по максимальной и минимальной температуре воздуха.

Таблица 4.7- Матрицы сопряженности прогноза температуры UK Met Office

Максимальная температура, °С					
		П, °С			
Ф, °С		-19 до -13	-12 до -6	-5 до 1	Сумма
	-19 до -13	3	0	0	3
	-12 до -6	0	10	1	11
	-5 до 1	0	0	16	16
	Сумма	3	10	17	30
Минимальная температура, °С					
		П, °С			
Ф, °С		-28 до -21	-20 до -11	-10 до -1	Сумма
	-28 до -21	2	0	0	2
	-20 до -11	0	8	1	9
	-10 до -1	0	1	18	19
	Сумма	2	9	19	30

В матрице прогнозов максимальной температуры UK Met Office несоответствие прогноза и факта было лишь один день, когда прогнозировалось от -5° до 1°, а по факту было от -12° до -6°.

По минимальной температуре несоответствие было тоже 1 день, когда прогнозировалось от -10° до -1°, а по факту было от -20° до -11°.

Проанализировав информацию по всем шести матрицам сопряженности, можно сделать вывод о том, что больше всего несоответствий прогностических и фактических значений температуры было в прогнозах ВСГМС, а меньше у UK Met Office.

Хуже всего прогноз был дан Вологодским центром (ВСГМС) в интервале от -8°C до -4°C по максимальной температуре, и в интервале от -16°C до -10°C по минимальной температуре. Самый качественный прогноз был у UK Met Office (сайт “Расписание погоды”), так как наибольшая часть прогнозируемых величин совпадает с фактическими значениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была подготовлена база данных: гидродинамический (“Расписание погоды”, Гидрометцентр России) и синоптический прогноз (Вологодский центр(ВСГМС)) на период с 30 ноября 2020 года по 29 декабря 2020 года.

По данным максимальной и минимальной температуры посчитаны статистические параметры: абсолютная и относительная погрешность, коэффициент корреляции, коэффициент вариации, критерий Стьюдента, оправдываемость и построены матрицы сопряженности по всем прогнозам.

Повторим все выводы, сделанные при статистической оценке прогнозов:

- Проанализировав результаты прогноза на предмет абсолютной и относительной ошибки, можно сделать вывод о том, что более качественный прогноз дает Вологодский центр (ВСГМС), так как все ошибки находятся в пределах от 0,006 до 0,26 по модулю.

- Рассчитанный коэффициент корреляции больше 0,9 по всем величинам, это значит, что характеристики статистически связаны. Для практической оценки статистической значимости посчитан критерий Стьюдента. При уровне значимости 5% $t_{кр} = 0,367$, все рассчитанные значения t больше, чем $t_{кр}$, а это значит, что полученные коэффициенты корреляции значимы на уровне значимости 5%.

- Самый маленький коэффициент вариации ряда минимальной температуры имеет прогноз Росгидрометцентра, а ряда максимальной температуры прогноз ВСГМС. Самые большие значения коэффициента вариации рядов минимальной и максимальной температуры прогноз UK Met Office. Это говорит о том, что самую маленькую изменчивость в ряде данных имеет прогноз ВСГМС, а самую большую прогноз UK Met Office (сайт “Расписание погоды”).

- Прогноз Гидрометцентра РФ (сайт Метеоинфо) по максимальной и по минимальной температуре не оправдался 18 декабря 2020 года. Прогноз ВСГМС по максимальной температуре прогноз не оправдался 9 декабря 2020 года, а по минимальной температуре 3, 9 и 27 декабря 2020 года. Прогноз UK Met Office (сайт "Расписание погоды") по максимальной температуре прогноз не оправдался 19 декабря 2020 года, а по минимальной 20 декабря 2020 года.

- При анализе синоптических карт за те дни, когда прогноз не оправдался было выявлено, что самые большие ошибки наблюдаются в прогнозах при наличии антициклонов.

- Хуже всего прогноз был дан Вологодским центром (ВСГМС) в интервале от -8°C до -4°C по максимальной температуре, и в интервале от -16°C до -10°C по минимальной температуре. Самый качественный прогноз был у UK Met Office (сайт "Расписание погоды"), так как наибольшая часть прогнозируемых величин совпадает с фактическими значениями.

Исходя из всех вышеперечисленных выводов можно сделать заключительный вывод: прогноз Вологодского центра (ВСГМС) имеет минимальные погрешности и самую маленькую изменчивость, а прогноз UK Met Office (сайт "Расписание погоды") имеет самую высокую оправдываемость. Это значит, что прогнозы сайта "Расписание погоды" подходят для пользователей краткосрочного прогноза, а прогнозы Вологодского центра для среднесрочных и долгосрочных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - мировой центр данных - <http://meteo.ru/>

[2] «Вологодский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» - <http://vcgms.ru/>

[3] «Расписание погоды» - <https://rp5.ru/>

[4] «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России») - <https://meteoinfo.ru/>

[5] ФГБУ «Гидрометцентр России»: Руководящий документ РД 52.27.724–2019 Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения, 2019. - 66 с.

[6] Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме: учебное пособие /Н.С. Кравченко, О.Г. Ревинская; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 88 с.

[7] В.А. Лобанов, И.А. Смирнов, А.Е. Шадурский. Практикум по климатологии. Часть I. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011. - 145 с.