МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

На тему Гидродинамическое моделирование мезо- и микромасштабных вихрей (смерчей)

Исполнитель **Гусаченко Дмитрий Валерьевич**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук
(ученая степень, ученое звание)
Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«11» июня 2018 г.

Санкт–Петербург
2018

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	Сокращения	3
	Введение	4
1	Опасные явления погоды и их прогноз	7
1.1	Сверхкраткосрочный прогноз погоды	7
1.2	Обзор существующих методов прогнозов, основанных на радарах	8
1.3	Прогноз с использованием радиолокационной сети CASA	11
1.4	Экстраполяционные методы прогноза опасных явлений погоды	14
1.4.1	Система NCAR-Nowcaster	15
1.4.2	Алгоритм прогнозирования конвективной погоды CWF от 0 до 2 часов	17
1.5	Ассимиляция данных и прогнозирование	17
1.6	Описание опасного явления погоды (смерч)	18
2	Описание модели WRF	23
2.1	Модель WRF-ARW	24
2.2	Модель WRF-NMM	27
2.3	Построение модели WRF	29
2.4	Запуск WPS	31
2.5	Создание вложенных областей с помощью WPS	34
3	Численные эксперименты и анализ результатов	38
3.1	Исследуемая ситуация и описание синоптического процесса	38
3.2	Используемая характеристика и её характеристики	39
3.3	Анализ результатов численных экспериментов на обычной сетке	43
3.3.1	Скорость ветра	44
3.3.2	Направление ветра	48

Стр.

3.3.3 Температура на 2-ух метрах 49

3.3.4 Потенциальная температура 53

3.3.5 Давление на уровне моря 56

3.3.6 Геопотенциальная высота 57

3.4 Анализ результатов численных экспериментов на вложенной сетке 58

3.4.1 Скорость ветра 58

3.4.2 Направление ветра 61

3.4.3 Температура на 2-ух метрах 62

3.4.4 Потенциальная температура 66

3.4.5 Давление на уровне моря 70

3.4.6 Геопотенциальная высота 70

3.5 Общий анализ 71

Заключение 73

Список использованных источников 74

Приложение А – Примеры полученных результатов с помощью модели WRF на обычной сетке 77

Приложение Б – Примеры полученных результатов с помощью модели WRF на обычной сетке 103

СОКРАЩЕНИЯ

WRF	–	Weather Research and Forecasting
CASA	–	The Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere
DARTS	–	The Dynamic and Adaptive Radar Tracking of Storms
ВМО	–	Всемирная метеорологическая организация
NCAR	–	National Center for Atmospheric Research
CWF	–	Convective weather forecast
ППС	–	приземный пограничный слой
NOAA	–	National Oceanic and Atmospheric Administration
DoD	–	United States Department of Defense
OU	–	The University of Oklahoma
CAPS	–	Center for Analysis and Prediction of Storms
FAA	–	Federal Aviation Administration
NCEP	–	National Centers for Environmental Prediction
WPS	–	WRF preprocessing system
USGS	–	United States Geological Survey
METAR	–	Meteorogical Aerodrome Report

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное прогнозирование текущей погоды требует высокой плотности информации об атмосфере, особенно вблизи подстилающей поверхности. В течение нескольких последних десятилетий наблюдалось экспоненциальное увеличение этих данные в реальном времени – десятки тысяч наблюдений были доступны каждый час.

Метеорологические данные о погоде не ограничиваются поверхностными наблюдениями. Расширилась сеть самолётных наблюдений, которые предоставляют информации не только во время полёта, но и во время взлёта и посадки. Наблюдения приборов с использованием доплеровских инструментов дают возможность определить не только местоположение, а также тип и микрофизику облаков и осадков. Сеть обеспечивает сотни высококачественных зондирований каждый день.

Комбинация этих новых источников данных повысить возможности в описании мезомасштабных атмосферных образований над сушей и океанами. Такие наблюдения значительно понимание текущей погоды, так как они обеспечивают значительно улучшенное описание того, что происходит сейчас, а через ассимиляцию данных и моделирование, что произойдет в течение следующих нескольких часов [1].

В последние годы стоит вопрос об опасных явлениях погоды. Например, на Урале произошло не менее 20 случаев опасных явлений [2,3] за последние двадцать лет. У всех на памяти катастрофические смерчи, наблюдавшиеся в Москве весной 2017 и 2018 годов. С каждым годом совершается повседневный прогресс в жизни людей, а значит, увеличивается нанесенный урон опасным явлением погоды человеческим жизням. В связи со всем вышесказанным актуальность темы исследования не вызывает сомнений.

Объектом исследования магистерской диссертации являются атмосферные процессы.

Предметом исследования являются мезомасштабные вихри.

Целью данной магистерской диссертации является разработка мезомасштабной модели для описания мезомасштабных вихрей. Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Изучить научную литературу по прогнозам опасных явлений.
2. Изучить гидродинамическую модель WRF.
3. Создать вариант модели прогноза для опасных явлений на территории города Москвы и Московской области.
4. Провести численные эксперименты.
5. Провести анализ результатов.

Структура магистерской диссертации обусловлена предметом, целью и задачами исследования. Работа состоит из введения, трех глав и заключения.

Введение раскрывает актуальность раскрываемой проблемы, определяет объект и предмет изучения, формирует цели и задачи написания работы.

В первой главе рассматриваются:

1. Методы определения опасных явлений на основе радиолокационных данных и численных прогнозов погоды
2. Описание опасного явления, как смерч. Его образование и характеристики

Во второй главе рассматриваются:

1. Разновидности модели WRF.
2. Шаговая инструкция проведение нашего численного эксперимента

В третьей главе анализируются метеорологические величины. В ходе анализа выявляют, какой лучше эксперимент подходит для данной территории.

В заключении подводятся итоги диссертационного исследования магистра.

Список использованных источников содержит 25 наименований.

1 Опасные явления погоды и их прогноз

Опасные явления погоды прогнозируются наиболее успешно в рамках краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов. В существующих оперативных методах прогноза опасных мезомасштабных явлений погоды чаще всего используется экстраполяция во времени радиолокационных эхо-сигналов, спутниковых изображений облаков и/или данных о местоположении молний. Эта информация особенно информативна при разработке прогнозов заблаговременностью 0–3 часа. В последнее время всё более части используются и результаты гидродинамического моделирования атмосферных процессов с заблаговременностью 3-6 часов [4]. Исследования показали, что точность прогнозов, основанных на экстраполяции, быстро уменьшается в течение 0–1часового срока [6,7]. Несмотря на это, основанные на экстраполяции прогнозы с заблаговременностью до 30 мин, привели к значительному улучшению предупреждений и рекомендаций, что привело к спасению жизней и значительному уменьшению убытков, связанных с опасными явлениями погоды [8].

1.1 Сверхкраткосрочный прогноз погоды

Сверхкраткосрочный прогноз погоды это прогноз на очень короткий период от 0 до 6 часов. Большинство опасных атмосферных явлений можно спрогнозировать только методами сверхкраткосрочного прогноза. Прогноз такого типа имеет очень чётко выраженные социальные и экономические выгоды, к которым относятся:

1. Сокращение числа погибших и раненых из-за погодных явлений.

2. Сокращение личного, общественного и промышленного, имущественного ущерба.

3. Повышение эффективности промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Снижение ущерба при принятии эффективных мер защиты.

Несмотря на успехи краткосрочных прогнозов погоды количество травм от смерчей, гроз и молний превышает 2000 людей в год, а ущерб, причиненный этими событиями, более 10 млрд долларов [9].

1.2 Обзор существующих методов прогнозов, основанных на радарах

В настоящее время строго радиолокационные методы прогнозирования текущей погоды относятся к одной из следующих четырех категорий (или их комбинаций): на основе площадей, на основе объектов, статистические и вероятностные подходы.

Методы краткосрочного прогноза на основе площадей оценивают поле движения по всей области охвата радиолокатора и демонстрируют эффективность в оценке перемещения различных типов облаков и осадков. Кроме того, эти поля движения могут служить не только для отслеживания штормовых движений (например, вращения и вихрей), но также оценивать векторную сходимость и дивергенцию воздушного потока. Для подходов на основе площадей требуется отдельный алгоритм оценки адвекции, чтобы соответствующим образом рекурсивно перевести последнее наблюдаемое (или предсказанное) поле движения для создания будущих прогнозируемых полей. Таким образом, оценка векторного поля движения и процесса адвекции может сделать такие подходы экономически дорогостоящими. Примерами методов на основе площади является:

1. Отслеживание радиолокационных эхо-сигналов путем корреляции (Местоположения максимальных коэффициентов взаимной корреляции определяют по последовательным радиолокационным полям движения) [8].

2. Непрерывное отслеживание радиолокационных эхо-сигналов с помощью корреляционных векторов [8].

3. Рост и распад штормовых путей (поля радиолокационных данных предварительно фильтруются с помощью направленного эллиптического фильтра, чтобы отделить движение огибающей шаблона осаждения от внутренних движений до оценки с использованием подхода, основанного на взаимной корреляции) [8].

4. Алгоритм Макгилла для прогнозирования осадков с помощью лагранжевой экстраполяцией (минимизирована функция стоимости, основанная на физике атмосферы, для оценки поля вектора движения, и метод фильтрации на основе вейвлет анализа применяется к предсказанным полям для удаления непредсказуемых масштабов) [8].

Схемы прогнозирования на основе объектов позволяют идентифицировать области с высокой отражательной способностью в радиолокационных полях и отслеживать размер, форму и перенос когерентных признаков во времени по последовательным полям. Методы текущего прогнозирования на основе объектов очень хорошо работают с сильными, четко определенными структурами шторма. Существует несколько методов, которые включают в себя:

1. Метод идентификации и отслеживания ливневых ячеек, (отражательная способность отслеживаются с использованием алгоритма k-средних в трехмерной парадигме) [8].

2. Алгоритм отслеживания, анализа и прогнозирования грозы, (для отслеживания используются методы комбинаторной оптимизации с возможностью обнаружения слияний и расщеплений конвективных ячеек) [8].

3. TRACE3D это метод для обнаружения двухступенчатых ячеек сочетается с процедурой отслеживания, аналогичной той, которая используется в методе идентификации и отслеживания ливневых ячеек для учета расщепления и слияния ячеек и пересечения их путей [8].

4. Подход, используемый в Системе поддержки принятия решений «SegMotionmodule» (иерархический алгоритм k-средних используется для идентификации объектов отражательной способности в 3D-парадигме и метод оптимизации с Калманской фильтрацией используется для оценки движения объекта) [8].

Существуют также методы прогнозирования текущей погоды, в которых эволюция атмосферы представлена статистическими моделями, которые учитывают динамику атмосферы. Поля отражения радаров моделируются как случайные процессы с использованием базисных функций. Поля прогнозируются в рамках байесовской иерархической модели с использованием цепей Маркова в методе Монте-Карло. Другой статистический подход называется спектральным прогнозом, где поле отражения радара разбивается на каскад случайных полей с использованием частотного фильтра. Прогностические поля генерируются путем экстраполяции каждого уровня в каскаде с помощью одного вектора движения, оцененного путем максимизации взаимной корреляции в последовательных радиолокационных полях и путем моделирования во времени с использованием модели авторегрессии второго порядка.

Существуют также несколько вероятностных подходов к прогнозированию текущей погоды, где рассчитывается вероятность возникновения осадков выше определенного порога в каждой точке области радиолокационного покрытия [9].

1.3 Прогноз с использованием радиаолокационной сети CASA

Радиолокационная сеть CASA состоит из четырех маломощных (пиковое излучение 10 кВт) доплеровских двухполяризационных радаров с малой дальностью (максимум 40 км) и частотой X-диапазона 9.41 ГГц. Он установлен на телекоммуникационных башнях площадью около 7000 км^2. Каждый радиолокационный узел расположен примерно в 30 км от следующего блока. Несколько одновременных радиолокационных наблюдений одного и того же метеорологического явления с помощью радиолокаторов в сети CASA облегчают использование процедуры коррекции ослабления для улучшения оценок осадков [10]. Процедуры коррекции затухания и удаления помех выполняются в реальном времени на каждом из четырех радиолокационных узлов CASA. Сеть спроектирована с системной целью картирования опасных погодных явлений в самых низких слоях (до 3 км) тропосферы с высоким пространственным и временным разрешением. Множественные одновременные радиолокационные наблюдения одного и того же метеорологического явления с помощью радаров в сети CASA облегчают обработку радиолокационных данных и позволяют эффективно в режиме реального времени корректировать помехи [11].

Результаты анализа данных CASA служат входными данными для прогнозирования с использованием DARTS, которые обеспечивают прогнозируемые поля отражательной способности.

Алгоритм прогнозирования DARTS построен на решении уравнения неразрывности, модифицированном для прогнозирования текущей погоды путем описания эволюции осадков, представленной временной последовательностью полей радиолокационных данных, заданных формулой (1.1) [8]:

$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{t}}\mathrm{F}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{t}) = -\mathrm{U}(\mathrm{x},\mathrm{y})\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\mathrm{F}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{t}) - \mathrm{V}(\mathrm{x},\mathrm{y})\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\mathrm{F}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{t}) + \mathrm{S}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{t}) \qquad (1.1)$$

где $\mathrm{F}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{t})$ – последовательность полей отражения радиолокатора;

$\mathrm{U}(\mathrm{x},\mathrm{y})$ – меридиональная составляющая скорости ветра;

$\mathrm{V}(\mathrm{x},\mathrm{y})$ – зональная составляющая скорости ветра;

$\mathrm{S}(\mathrm{x},\mathrm{y},\mathrm{t})$ – последовательность аддитивных механизмов эволюции, таких как рост и уменьшение интенсивности.

DARTS оценивает движение областей осадков в терминах векторного поля движения, представляя уравнение (1.1) в виде дискретной пространственно-временной линейной модели, сделанной [12].

$$\begin{aligned}\mathrm{k_t F_{DFT}}(\mathrm{k_x},\mathrm{k_y},\mathrm{k_t}) = &-\frac{1}{\mathrm{N_x N_y}}\sum_{\mathrm{k'_x}=-\frac{\mathrm{N_x}}{2}}^{+\frac{\mathrm{N_x}}{2}}\sum_{\mathrm{k'_y}=-\frac{\mathrm{N_y}}{2}}^{+\frac{\mathrm{N_y}}{2}}\left[\frac{\mathrm{U_{DFT}}(\mathrm{k'_x},\mathrm{k'_y})}{\frac{\mathrm{T_x}}{\mathrm{T_t}}}\right](\mathrm{k_x} \\ &- \mathrm{k'_x})\mathrm{F_{DFT}}(\mathrm{k_x}-\mathrm{k'_x},\mathrm{k_y}-\mathrm{k'_y},\mathrm{k_t}) \\ &-\frac{1}{\mathrm{N_x N_y}}\sum_{\mathrm{k'_x}=-\frac{\mathrm{N_x}}{2}}^{+\frac{\mathrm{N_x}}{2}}\sum_{\mathrm{k'_y}=-\frac{\mathrm{N_y}}{2}}^{+\frac{\mathrm{N_y}}{2}}\left[\frac{\mathrm{V_{DFT}}(\mathrm{k'_x},\mathrm{k'_y})}{\frac{\mathrm{T_y}}{\mathrm{T_t}}}\right](\mathrm{k_y} \\ &- \mathrm{k'_y})\mathrm{F_{DFT}}(\mathrm{k_x}-\mathrm{k'_x},\mathrm{k_y}-\mathrm{k'_y},\mathrm{k_t}) \\ &-\frac{\mathrm{i}}{2\pi}\left[\mathrm{T_t S_{DFT}}(\mathrm{k_x},\mathrm{k_y},\mathrm{k_t})\right]\end{aligned} \qquad (1.2)$$

где $\mathrm{F_{DFT}}(\mathrm{k_x},\mathrm{k_y},\mathrm{k_t})$ – трехмерные коэффициенты дискретного преобразования Фурье дискретной наблюдаемой последовательности радарного поля $F(i,j,k)$;

$\mathrm{U_{DFT}}(\mathrm{k'_x}, \mathrm{k'_y})$ – двумерные коэффициенты дискретного преобразования Фурье для оценки компонентов вектора движения восток-запад $U(i, j)$;

$\mathrm{V_{DFT}}(\mathrm{k'_x}, \mathrm{k'_y})$ – двумерные коэффициенты ДПФ для оценки компонентов вектора движения с севера на юг $V(i, j)$;

$\mathrm{S_{DFT}}(\mathrm{k_x}, \mathrm{k_y}, \mathrm{k_t})$ – трехмерные коэффициенты ДПФ оценки эволюции (т. е. роста и распада) $S(i, j, k)$;

T_x и T_y – размеры (восток-запад и север-юг) наблюдаемых полей отражательной способности;

T_t – число полей отражательной способности, рассматриваемых для оценки движения (т.е. временной интервал последовательности полей отражательной способности);

N_x и N_y – максимальные гармонические числа $\mathrm{F_{DFT}}(\mathrm{k_x}, \mathrm{k_y}, \mathrm{k_t})$ в горизонтальном и вертикальном измерениях, соответственно.

Действующая система прогнозирования текущей погоды CASA не включает S-член в модель формула (1.2) [8]. Это основано на исследованиях, которые не показали улучшения качества прогноза при учёте этого слагаемого.

DARTS является «динамическим» в том смысле, что модель оценки движения основана на динамическом уравнении и считается «адаптивной», поскольку можно контролировать гладкость оцененного поля движения и масштаб движения.

Вычислительная эффективность является ключевым вопросом, учитывая разрешение данных с шагом 0,5 км по пространству и одна минута по времени. Чтобы смягчить эту проблему, алгоритм DARTS был разработан на основе метода наименьших квадратов.

Текущая погода используется при 1–5 минутное время шкалы, чтобы настроить стратегию радара сканирования сети, где рулевой радар с использованием текущей погоды позволила радиолокационной сети, чтобы лучше наблюдать атмосферу. Исследование обратной связи для конечных пользователей является наиболее важным показателем производительности в CASA и оперативные обследования прогнозов, и количественные показатели были благоприятными.

1.4 Экстраполяционные методы прогноза опасного явления погоды

Экстраполяция во времени результатов радиолокации было основой краткосрочного прогноза осадков с тех пор, как он был впервые развит Лигдой в 1953 году [13]. В 1980-х годах MetOffice (Великобритания) представила систему FRONTIERS [14], а затем систему оперативного прогноза Nimrod [15]. Главным новшеством последней из этих систем было сочетание методов экстраполяции данных радиолокаторов с результатами гидродинамического моделирования для получения расширенного краткосрочного прогноза, который соответствовал прогнозам более крупного масштаба и на более длительный период [16]. Примерно в то же время совместный анализ облачности на спутниковых снимках и радиолокационных наблюдениях в пограничном слое показал, что начало и эволюция грозы часто контролировались линиями конвергенции. Это привело к разработке эвристических методов прогнозирования грозы, основанных на мониторинге линий конвергенции и их характеристиках.

Основным стимулом для развития сверхкраткосрочных методов прогнозирования была BMO, которая в Сиднее в 2000 году разработала FDP [17]. Эта демонстрация объединила системы «краткосрочные прогнозы» из ряда стран, предназначенных для прогнозов суровой погоды и осадков. Сроки этого проекта были идеальными, поскольку он использовал последние достижения в

области радиолокационной техники, а также вычислительную мощность и методы программирования. Взаимодействие разработчиков различных систем с оперативными синоптиками и пользователями в сочетании с широким распространением результатов проекта привело к омоложению в рядах исследователей краткосрочных прогнозов погоды и получению высокой отдачи.

Одной из систем сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений погодя является система Auto-Nowcaster, разработанная в NCAR [7].

1.4.1 Система NCAR Auto-Nowcaster

NCAR Auto-Nowcaster – экспертная система, иногда называемая эвристической системой или системой, основанной на наблюдениях. Она автоматически предоставляет время и место возникновения гроз с заблаговременностью 30 и 60 минут. В этой системе обрабатываются и интегрируются данные доплеровских радиолокаторов, спутниковых и наземных станций, результаты зондирования верхних слоев атмосферы, датчиков молнии и гидродинамических моделей [18].

Прогнозируется начало, эволюция и диссипация грозы с помощью анализа устойчивости атмосферы, штормовых движений относительно линий конвергенций, низкоуровневый сдвиг относительно линий конвергенций, штормовые характеристики и наличие кучевых облаков вблизи линий конвергенции. Эти данные преобразуются в поля параметров прогноза, которые затем используются в комбинации концептуальных моделей прогнозов и методах нечеткой логики.

Центральным для прогноза является наличие линий конвергенции пограничного слоя. Для начала шторма это обязательное требование. Линии конвергенции идентифицируются тремя способами:

1. Автоматизированные алгоритмы, основанные на анализе данных радаров и доплеровских локаторов, которые связаны с линиями конвергенции.

2. Специалист (синоптик) анализирует все наборы данных (радиолокационные, спутниковые, данные наземных станций).

3. Автоматизированный анализ результатов гидродинамического моделирования. Анализируется градиенты давления и завихренность.

На рисунке 1.1 представлен пример 60-минутного прогноза, который включает в себя прогноз начало бури. В этом случае успешное прогнозирование шторма начиналось вдоль линий сходимости пограничного слоя [7].

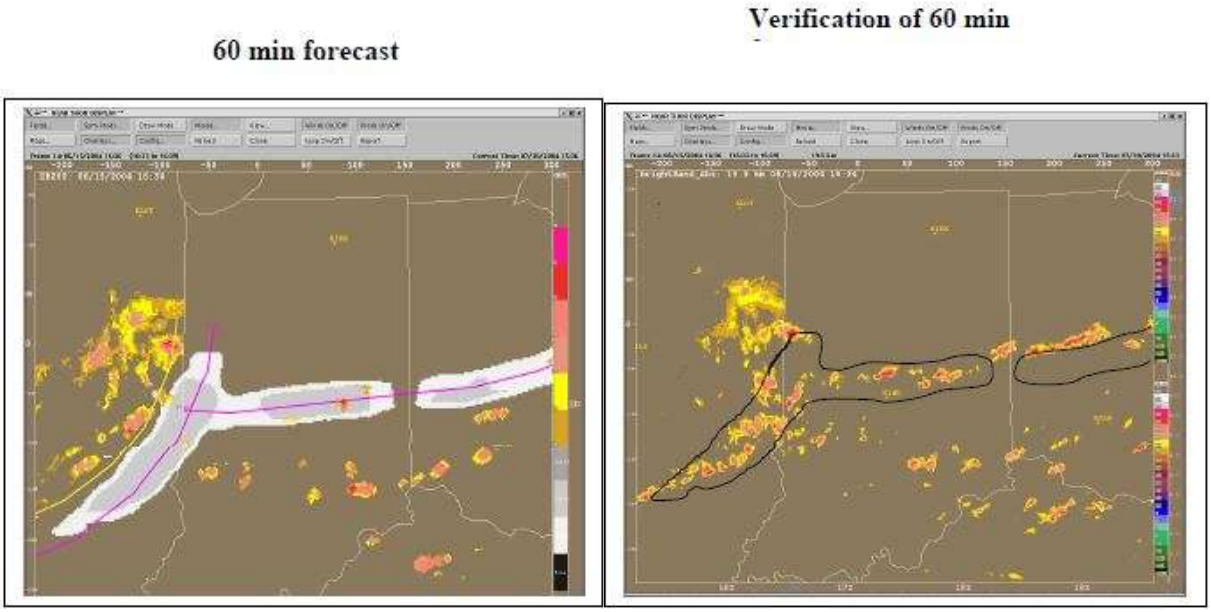

Рисунок 1.1 – Пример 60-минутного прогноза и проверки, производимого NCAR Auto-Nowcaster [7]

Серая область на левом изображении - это область, где прогнозируется начало шторма. Коричневые, желтые и красные области являются экстраполяционными прогнозами отражательной способности радаров. На правом рисунке (фактическое поле) чёрный контур обводит область, где было предсказана начало шторма. Фиолетовыми линиями на левом изображении

указано прогностическое расположение линий конвергенции пограничного слоя с заблаговременностью 60 минут. Можно видеть, что факт очень близок к прогнозу.

1.4.2 Алгоритм прогнозирования конвективной погоды CWF от 0 до 2 часов

Алгоритм прогнозирования конвективной погоды от 0 до 2 часов (CWF) является алгоритмом слежения за несколькими масштабами, который определяет тип и силу существующих штормов, их движения и тенденции роста/распада, и прогнозирует их эволюцию на основе моделей разработанных в результате изучения гроз. В алгоритме CWF все штормы отслеживаются, классифицируются в зависимости от типа погоды и измеренные тенденции роста/распада в моделях, которые определяют возможную эволюцию бури. В целях получения величины и направление движения ливневой ячейки и штормовой оболочки, используется метод отслеживания взаимной корреляции.

Некоторые части системы конвективного прогноза погоды работают на данных с отдельных радаров, а другие части обрабатывают данные, объединенные (или мозаичные) вместе с нескольких радаров в одно изображение. В настоящее время четыре мозаичных процесса происходят в системе CWF: вертикально интегрированная жидкая вода, эхо-топы, осадки, тенденции и штормовое движение. Мозаика запускается на 2,5-минутном такте для отображения продуктов, а CWF использует любой другой набор мозаики в пятиминутной скорости обновления [19].

1.5 Ассимиляция данных и прогнозирование с высоким разрешением

Ассимиляция данных быстро развивается в течение последнего десятилетия. Увеличение количества и качества спутниковых наблюдений привели к значительному улучшению качества анализов на синоптических

масштабах и прогнозов. Такое усовершенствованное привело и к улучшению прогнозов с высоким разрешением, поскольку мезомасштабные модели обычно получают свои начальные и граничные условия от более масштабных моделей.

Мезомасштабные оперативные модели, которые имеют шаг по пространству менее 10 км, часто сегодня работают в режиме реального времени. Таким образом, впервые оперативные мезомасштабные модели обладают необходимым разрешением для моделирования локальных особенностей – от конвекции до орографических потоков. Достоинства высокого разрешения были дополнены существенными улучшениями в описаниях физики (например, микрофизика, ППС, фазовые переходы и процессы на подстилающей поверхности). Также развиваются ансамблевые подходы, обеспечивающие вероятностные анализы и прогнозы [1].

Сегодня данные с высоким разрешением (около 10 км) доступны из системы быстрого обновления, которая включает почасовые данные ассимиляции и прогнозов [20].

1.6 Описание опасного явления (смерч)

Смерчем называется вихрь с вертикальной осью вращения, связанный с мощным кучево-дождевым облаком. Диаметр смерча составляет от 10 до 1500 м. Огромные скорости вращения развивают в смерче центробежные силы, вызывающие пониженное давление в его центре. Вращение ветра в смерче чаще всего циклоническое, но иногда наблюдается и антициклоническое. Вследствие огромной силы ветрового напора и большой разности давления в смерче и окружающем пространстве, смерч вызывает сильные и даже катастрофические разрушения. Обычно смерч опускается из кучево-дождевого облака к поверхности суши или моря, вбирая в себя пыль, песок, камни, траву и воду. С приближением смерча слышен очень сильный шум, который возникает от ветра и столкновения различных предметов, втягивающихся в разреженную

центральную область смерча. Длина воронки смерча может быть различной - от десятков метров до нескольких километров, а ее диаметр может составлять от нескольких метров до сотен метров. Чаще всего воронка напоминает конус (хобот), однако встречаются воронки и других форм - короткие толстые колонны, характерные для очень сильных смерчей, или длинные жгуты, местами вытягивающиеся горизонтально. На протяжении короткой жизни смерча, размер и форма воронки могут существенно меняться, отражая колебания скорости ветра в тропосфере или изменения характеристик втекающего в смерч воздуха. Продолжительность существования смерча небольшая: от нескольких минут до нескольких часов, длина пути в среднем 15-60 км, а иногда и около 500 км. Скорость движения смерча различна: от 10-20 до 60–70 км/ч и более [21].

По современным представлениям структура очень сильного смерча, достигающего земной поверхности, весьма сложная. В центральной части смерча имеется ядро, шириной 100-150 м и меньше, в котором наблюдаются мощные, до 60-80 м/с, нисходящие движения воздуха. Выхоложенный опускающийся воздух конвергирует у земли, увеличивая разрушительную силу смерча и образуя его подножье. Вокруг ядра смерча отмечаются громадные (до 70-90 м/с) восходящие движения воздуха. В результате, по всей длине смерча происходит конденсация водяного пара, что придает смерчу белесоватый цвет, видный издалека. Когда же смерч вбирает в себя пыль и песок - он становится темным [21].

Смерч - локальное явление. Однако образование смерчей связано с интенсивными макромасштабными атмосферными процессами – зонами активной конвективной и грозовой деятельности. Эти зоны образуются при большой вертикальной неустойчивости воздушной массы, характеризующейся сходимостью (конвергенцией) теплых и влажных потоков в ее нижней части и расходимостью (дивергенцией) относительно холодных и сухих потоков в верхней тропосфере и нижней стратосфере. Поэтому сильные смерчи наиболее

часто наблюдаются в теплое время года, между 15 и 18 ч, в углубляющихся циклонах, на обостряющихся холодных фронтах и впереди них, под обширными тропосферными депрессиями. Наряду с вышеперечисленными главными макромасштабными процессами, способствующими образованию смерчей, должен выполняться еще целый ряд макромасштабных и мезомасштабных условий. Рассмотрим некоторые из них по [21].

1. Циклоны, в которых могут возникнуть смерчи, обычно быстро движутся. Смерчи отмечаются в юго-восточном квадрате теплого сектора циклона, впереди линии разрыва точки росы у Земли, а также впереди быстро движущихся холодных фронтов, где часто образуются линии неустойчивости и линии шквалов с облачными валами, вращающимися вокруг горизонтальной оси, сильно изогнутой в вертикальной плоскости.

2. В макромасштабных циклонических областях, на холодных фронтах и их волнах часто имеют место мезомасштабные циклонические вихри. Массивы грозовой облачности здесь нередко имеют слабое вращательное движение вокруг вертикальной оси. Оно ускоряется при наличии в тропосфере больших горизонтальных и вертикальных сдвигов ветра. В этих условиях сильные вертикальные потоки внутри мощного массива кучево-дождевых облаков могут обусловить значительные сдвиги ветра на границе этих потоков и облачного массива, что и дает первоначальный момент вращения. Его передача по сужающемуся каналу, как хорошо известно, дает резкое ускорение вращения, что при соответствующей начальной интенсивности процессов может привести к возникновению смерча [21].

Имеется ряд гипотез, объясняющих физические особенности образования смерчей. Образование смерча происходит в два этапа. Первый этап - зарождение смерча. Вначале в облачном массиве начинает закручиваться столб восходящего потока воздуха диаметром 10-20 км и в средней тропосфере образуется мезовихрь с пониженным давлением в центре (в США мезовихри в кучево-дождевых облаках называют мезоциклонами). Вращение воздуха

начинается на высотах 4-8 км, которое затем передается нижним и верхним слоям тропосферы как бы по "трубе". При этом во вращающемся воздухе находятся в равновесии две силы - сила градиента давления, направленная к центру столба воздуха, и центробежная сила, направленная от центра вращения. Возникает так называемый циклострофический баланс, вследствие чего воздух движется вокруг вертикальной оси и в то же время перемещается вдоль нее, радиальные компоненты движения воздуха значительно ослаблены. По мере усиления восходящего потока в нижней части мезоциклона увеличивается конвергенция. Вследствие изменения направления ветра с высотой, втекающий воздух дополнительно закручивается вокруг оси столба вращения. Из-за сохранения углового момента, величина которого пропорциональна массе объема воздуха, его скорости и расстоянию от оси вращения, скорость вращения воздуха, приближающегося к оси, возрастает. Воздух, сходящийся в нижней части мезоциклона, вращаясь поднимается с ускорением. При этом происходит растяжение вращающегося столба воздуха по вертикали, и диаметр мезоциклона уменьшается до 2-6 км. Скорость потоков во вращающемся столбе воздуха может достигнуть 30-35 м/с, однако для наблюдателя смерч продолжает оставаться невидимым [21].

Второй этап – появление смерча, видимого наблюдателем. Па этом этапе формируется ядро смерча. Физика процесса и причины образование смерча особенно неясны. Предположительно, это происходит тогда, когда внутри мезоциклона, ближе к его периферии, сходимость и расходимость воздушных потоков по вертикали проявляется особенно резко. Диаметр этой области составляет не более 1 км. Здесь, как подтверждают измерения с помощью доплеровского радиолокатора, усиление вращения столба воздуха в средней части тропосферы быстро передается вниз, и вихревая труба вытягивается почти до земли.

В результате перепада давления, возникающего между ядром смерча и его внешней границей, воздух в сравнительно тонком слое вблизи земли

втекает внутрь вихря, где он резко изменяет направление движения и начинает подниматься по спирали вверх. В результате зона наиболее сильных ветров принимает форму кольца. Поскольку трение о землю ограничивает радиальную скорость потока, ядро смерча не успевает заполниться воздухом снизу. Если грозовое облако, с которым связан смерч, становится особенно большим и превращается в суперячейку, то имеющийся в нем мезоциклон может рождать несколько смерчей. Иногда наблюдаются целые семейства смерчей - до восьми вихрей.

2 Описание модели WRF

Благодаря совместному партнерству, в основном между NCAR, NOAA, DoD, OU/CAPS, FAA и университетами, сообщество моделирования США разрабатывает модель мезомасштабного моделирования следующего поколения, известную как модель (WRF). Цели проекта WRF заключаются в разработке передовой мезомасштабной системы прогнозирования и сбора данных и ускорении научно-исследовательских достижений в операциях. Модель предназначена для повышения точности прогноза в масштабах от облачного до синоптического, с приоритетным акцентом на разрешения горизонтальной сетки 1-10 километров. В настоящее время проводятся многочисленные эксперименты по прогнозированию в реальном времени для оценки эффективности WRF в различных прогнозируемых приложениях. Кроме того, модель подвергается всестороннему тестированию для ансамблевого подхода, который будет реализован оперативно на NCEP [22].

Со времени своего первого публичного выпуска в 2000 году WRF стала, вероятно, самой используемой в мире моделью атмосферы. Об этом свидетельствуют показатели зарегистрированных пользователей и публикаций. Каталог публикаций, связанных с WRF, отражает влияние модели на науку. Количество рецензируемых журнальных публикаций с участием WRF в настоящее время составляет более 3500, а среднегодовой показатель за 2011–2015 годы составляет 510 в год. Количество уникальных учреждений в рецензируемых публикациях WRF составляет более 1340 человек, а число уникальных авторов превышает 11700 человек. На сегодняшний день количество статей в документах WRF составляет более 26 500, в среднем более 10 цитирований за публикацию [23].

Хотя WRF зрелая модель, она продолжает развиваться. Система активно применяется в новых направлениях исследований, настройках в реальном времени и возможностях на рынке [23].

2.1 Модель WRF-ARW

Система моделирования атмосферных процессов WRF (ARW) разрабатывается последние десятилетия. Модель WRF-ARW разработана как гибкая, современная система атмосферного моделирования, которая является портативной и эффективной, доступной для параллельных вычислительных платформ. Модель WRF-ARW подходит для использования в широком диапазоне приложений в том числе:

1. Идеализированное моделирование (например, вихреразрешающее моделирование, конвекция, бароклинные волны).
2. Исследование параметризаций.
3. Исследование ассимиляции данных.
4. Исследование точности прогнозов.
5. Численное прогнозирование погоды в режиме реального времени.
6. Обучение гидродинамическому моделированию.

Мезомасштабное и микромасштабное подразделение NCAR в настоящее время поддерживает и поддерживает подмножество общего кода WRF (версия 2), который включает в себя:

1. Программное обеспечение WRF.
2. Динамическое ядро, включающее в себя одно- и двухстороннее взаимодействие, вложенные сетки, движущиеся вложенные сетки.
3. Система предварительной обработки WRF.
4. Система вариационной ассимиляции данных (WRF-Var), которая в настоящее время поддерживает возможность 3DVAR

5. Многочисленные физические пакеты, внесенные партнерами WRF и исследованием сообществом.

6. Несколько графических программ и программ преобразования для других графических инструментов

Другие компоненты системы WRF будут поддерживаться для использования в сообществах в будущем, в зависимости от интереса и доступных ресурсов. Программное обеспечение системы моделирования WRF находится в общественном достоянии и свободно доступно для использования в сообществе.

Компоненты программы системы моделирования WRF представлены на рисунке 2.1 в виде блок-схемы системы WRF версии 2 [24].

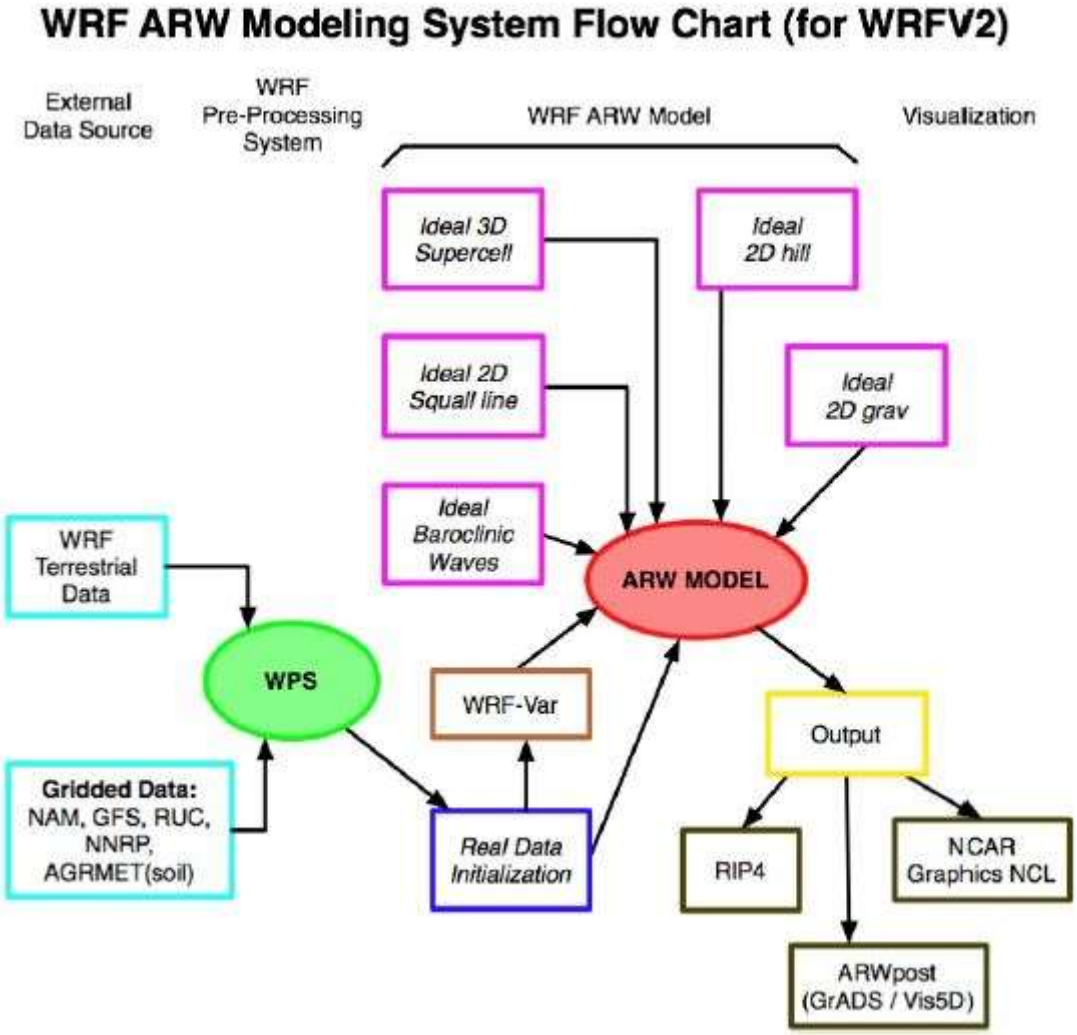

Рисунок 2.1 – Блок-схема модели WRF-ARW [24]

Как видно из рисунка 2.1 моделирующая система состоит из основных программ:

1. Система предварительной обработки WRF (WPS).
2. Система WRF вариационной ассимиляции данных.
3. Динамическое ядро ARW.
4. Инструменты обработки после моделирования.

Программа WPS используется в основном для моделирования реальных данных. Его функции включают:

1. Определение области моделирования.
2. Интерполирование наземных данных (такие как ландшафт, землепользование и типы почв) в области моделирования.
3. Уточнение и интерполирование метеорологических данных из другой модели в этой области моделирования.

Программа WRF-Var является необязательной, но может использоваться для ассимиляции наблюдений в анализ, созданный WPS. Его также можно использовать для обновления начального условия модели WRF, когда модель WRF запускается в циклическом режиме.

Динамическое ядро WRF-ARW является ключевым компонентом системы моделирования, состоящего из нескольких программ инициализации для идеализированных и реальных данных и гидродинамического прогноза погоды. Ключевые особенности модели WRF [24]:

1. Полностью сжимаемые негидростатические уравнения с возможной опцией гидростатичности.
2. Полный учёт силы Кориолиса и кривизны земной поверхности.
3. Вложенные сетки с возможным двухсторонним или односторонним взаимодействием.
4. Движущиеся вложенные сетки.
5. Использование различных картографических проекций таких, как полярная стереографическая, Ламберта, Меркатора.

6. Расшатанная сетка Аракавы.

7. Схема по времени Рунге-Кутта второго или третьего порядка.

8. Консервативная потоковая форма уравнений для скалярных уравнений.

9. Схема для описания адвекции порядка точности от 2-го по 6-го.

10. Положительно определенная схема описания адвекции влаги, скаляров и TKE.

11. Малый шаг по времени для акустических и гравитационных волн.

12. Боковые граничные условия (идеализированные случаи: периодические, симметричные и открытые радиационные, реальные случаи: заданные с зоной релаксации).

13. Полные физические параметризации процессов на земной поверхности, ППС, радиации, микрофизики и кучевых облаков.

Для инструментов графики поддерживается несколько программ, включая RIP4 (на основе графики NCAR), NCAR Графический командный язык и программы преобразования для других графических пакетов.

Модель WRF (и WRF 3DVAR) написана на языке Fortran (Fortran 90). Существуют также вспомогательные программы, которые написаны на C. Кроме того, механизм сборки WRF использует несколько языков сценариев: включая perl (для обработки различных задач, таких как браузер кода, разработанный Брайаном Фидлером), оболочкой Cshell и Bourne. Используются традиционные утилиты для обработки текста и файлов UNIX: make, M4, sed и awk [24].

2.2 Модель WRF-NMM

Негидростатическая мезомасштабная модель (HMM) ядро системы метеорологических исследований и прогнозирования (WRF) было разработано Национальным управлением океанических и атмосферных исследований

(NOAA) Национальные центры по прогнозированию окружающей среды (NCEP). WRF-NMM подходит для такого же широкого круга задач, как и ARW [25].

NOAA/NCEP и Центр тестирования разработки в настоящее время поддерживают и поддерживают часть WRF-NMM общего кода WRF (версия 3), которая включает в себя те же составные части, что и ARW.

Другие компоненты системы WRF будут поддерживаться для использования сообщества в будущем, в зависимости от интереса и доступных ресурсов.

Ключевыми особенностями WRF-NMM являются:

1. Полностью сжимаемая, негидростатическая модель с гидростатическим вариантом.
2. Гибридная (сигма-давление) вертикальная координата.
3. E-сетка Аракавы.
4. Схема обратной связи для горизонтальных распространения быстрых волн, неявная схема для вертикально распространяющихся звуковых волн, схема Адамса-Башфорта для горизонтальной адвекции и схема Кранка-Николсона для вертикальной адвекции. Один и тот же шаг времени используется для всех условий.
5. Сохранение ряда величин первого и второго порядка, включая энергию и энстрофию.
6. Полный набор параметризаций для подстилающей поверхности, планетарного пограничного слоя, коротковолновой и длинноволновой радиации, микрофизики и конвекции.
7. Вложенные сетки.

Унифицированный постпроцессор может использоваться для прогнозов WRF-ARW и WRF-NMM, который выполняет следующие функции:

1. Интерполяция прогнозов с исходной вертикальной координаты модели на стандартные уровни.

2. Интерполяция прогнозов с расшатанной сетки на нерасшатанную.
3. Вычисление диагностических переменных.
4. Вывод результатов в различных форматах.

2.3 Построение модели WRF

Модель WRF может быть построена для работы на одном процессорном компьютере, совместно используемой памяти машина (использующая OpenMP API), машине с распределенной памятью (с соответствующим MPI) или распределенном кластеер (используя как OpenMP, так и MPI).

WPS представляет собой набор из трех программ, роль которых заключается в подготовке ввода реальной программы для моделирования реальных данных. Каждая из программ выполняет один этап подготовки:

1. geogrid определяет модельные домены и интерполирует статические географические данные на сетку.
2. ungrib извлекает метеорологические поля из файлов в формате GRIB.
3. metgrid интерполирует по вертикали метеорологические поля, извлеченные ungrib.

Каждая из программ WPS считывает параметры из общего файла namelist. Этот файл содержит отдельный список имен, список имен записей для каждой из программ и общая запись списка имен, который определяет параметры, которые используются более чем в одной программе WPS.

Когда доступны библиотеки MPICH и подходящие компиляторы, программы metgrid и geogrid могут быть скомпилированы для выполнения распределенной памяти, что позволяет обрабатывать большие домены модели за меньшее время. Работа, выполняемая программой ungrib, не поддается распараллеливанию, поэтому ungrib может запускаться только на одном процессоре.

Помимо интерполяции по умолчанию наземных полей, программа geogrid является достаточно общей, чтобы иметь возможность интерполировать наиболее непрерывные и категориальные поля в области моделирования. Новые или дополнительные наборы данных могут быть интерполированы в домене моделирования с использованием файла таблицы GEOGRID.TBL. Файл GEOGRID.TBL определяет каждое из полей, которое будет создано geogrid. Он описывает методы интерполяции, которые будут использоваться для поля, а также местоположение в файловой системе, где расположены данные для этого поля.

Программа ungrib может читать GRIB1 и, если она скомпилирована с параметром GRIB2, файлы GRIB2.

Файлы GRIB обычно содержат больше полей, чем требуется для инициализации WRF. Обе версии формата GRIB используют различные коды для определения переменных и уровней в файле GRIB. Ungrib использует таблицы этих кодов, называемые Vtables , для «таблиц переменных» - для определения полей для извлечения из файла GRIB и записи в промежуточный формат. Подробная информация о кодах содержится в документации ВМО GRIB и в документации из исходного центра. Vtables для общих выходных файлов модели GRIB предоставляется с помощью программного обеспечения ungrib.

Пользователи могут создавать свои собственные Vtable для вывода других моделей, используя любой из Vtables в качестве шаблона.

Ungrib может записывать промежуточные файлы данных в любой из трех выбираемых пользователем форматов:

1. WPS – новый формат, содержащий дополнительную информацию, полезную для последующих программ.
2. SI – предыдущий промежуточный формат системы WRF.
3. MM5 – можно использовать ungrib для обеспечения ввода GRIB2 в систему моделирования MM5.

Любой из этих форматов может использоваться WPS для инициализации WRF, хотя рекомендуется использовать WPS-формат.

Программа metgrid интерполирует метеорологические данные промежуточного формата, которые извлекаются программой ungrib на области моделирования, определенные программой geogrid. Поскольку работа программы metgrid , как и программы ungrib, зависит от времени, metgrid запускается каждый раз, когда инициализируется новая симуляция.

Контроль над интерполированием каждого метеорологического поля обеспечивается файлом METGRID.TBL. Файл METGRID.TBL предоставляет одну секцию для каждого поля. Внутри раздела можно указать такие параметры:

1. Методы интерполяции, которые будут использоваться для поля.
2. Поле, которое действует как маска для маскированных интерполяций (например, U, V в ARW, H, V в NMM).

Выход из metgrid записывается в формате API WRF I/O, и, таким образом, выбрав формат NetCDF I/O, metgrid может быть сделано, чтобы написать свой выход в NetCDF для легкой визуализации с использованием внешних программных пакетов, включая новую версию RIP4 [25].

2.4 Запуск WPS

Существует три основных этапа работы системы предварительной обработки WRF:

1. Определите модель грубого домена и любые вложенные домены с geogrid.
2. Извлечь метеорологические поля из наборов данных GRIB для периода моделирования с помощью ungrib.
3. Горизонтально интерполировать метеорологические поля в модельные области с метрикой.

Когда несколько имитаций должны выполняться для одних и тех же доменов модели, необходимо только выполнить первый шаг один раз. После этого для каждой симуляции необходимо обрабатывать только изменяющиеся во времени данные, используя этапы два и три. Аналогичным образом, если несколько модельных доменов запускаются в течение одного и того же периода времени с использованием одного и того же источника метеорологических данных, нет необходимости запускать ungrib отдельно для каждой симуляции.

Шаг 1. Определение доменов модели с помощью geogrid.

В корневой структуре структуры WPS должны существовать символические ссылки на программы geogrid.exe, ungrib.exe и metgrid.exe, если программное обеспечение WPS было успешно установлено. В дополнение к этим трем ссылкам должен существовать файл namelist.wps .

Модель грубого домена и любые вложенные домены определены в записи списка namelist.wps « geogrid» , и, кроме того, необходимо установить параметры в записи «share» namelist.

В «geogrid» запись списка имен, проекция области моделирования определена, как и размер, так расположение всех модельных сетей. Проекция карты, которая будет использоваться для доменов модели, задается переменной map_proj и должна быть установлена rotated_ll для WRF-NMM.

Помимо установки переменных, связанных с проекцией, расположением и охватом доменов модели, путь к статическим географическим наборам данных должен быть правильно задан с помощью переменной geog_data_path. Кроме того, пользователь может выбрать, какое разрешение геоинформации статических данных будет интерполировать с использованием переменной geog_data_res, значение которой должно соответствовать одному из разрешений в данных GEOGRID.TBL. Если полный набор статических данных загружается со страницы загрузки WRF, возможные разрешения включают «30s», «2m», «5m» и «10m», соответствующие 30-дуговым секундам, 2-, 5-, и 10-дуговые минутные данные.

Шаг 2. Извлечение метеорологических полей из файлов GRIB с помощью ungrib.

Уже загруженные метеорологические данные в формате GRIB, первый шаг в извлечении полей в промежуточный формат включает в себя редактирование «доли» и «ungrib» запись списка имен файла namelist.wps - один и тот же файл, который был отредактирован, чтобы определить области моделирования.

После надлежащего изменения файла namelist.wps необходимо предоставить Vtable, а файлы GRIB должны быть связаны (или скопированы) с именами файлов, которые ожидаются с помощью ungrib. WPS поставляется с файлами Vtable для многих источников метеорологических данных, а соответствующий Vtable может быть просто символически связан с файлом Vtable , который является именем Vtable, ожидаемым от ungrib . Например, если данные GRIB взяты из модели GFS, это может быть выполнено с помощью> ln -s ungrib / Variable_Tables / Vtable.GFS виртуальные таблицы

Программа ungrib попытается прочитать файлы GRIB с именем GRIBFILE.AAA, GRIBFILE.AAB , ..., GRIBFILE.ZZZ. Чтобы упростить работу по связыванию файлов GRIB с этими именами файлов, предоставляется сценарий оболочки link_grib.csh . Сценарий link_grib.csh принимает в качестве аргумента командной строки список связанных файлов GRIB.

После редактирования файла namelist.wps и связывания соответствующих файлов Vtable и GRIB исполняемый файл ungrib.exe можно запустить для создания файлов метеорологических данных в промежуточном формате. Поскольку программа ungrib может выдавать значительный объем вывода, рекомендуется, чтобы вывод ungrib был перенаправлен в файл, как в приведенной выше команде.

Шаг 3 Горизонтальная интерполяция метеорологических данных с метрикой.

На последнем этапе запуска WPS метеорологические данные, извлеченные с помощью ungrib, горизонтально интерполируются на сетки моделирования, определенные георешеткой. Чтобы запустить metgrid, файл namelist.wps необходимо отредактировать [25].

2.5 Создание вложенных областей с помощью WPS

Количество сеток не ограничено. Сетки могут быть расположены бок о бок (т.е. две сетки могут быть дочерними элементами одного и того же родителя и расположены на одном уровне) или телескопически вложены. Коэффициент вложения для WRF-NMM всегда равен 3. Следовательно, расстояние между сетками гнезда всегда равно 1/3 его родительского домена.

Уровень вложенной сетки зависит от родительского домена. Если одно сетка определена внутри самого грубого домена, уровень её будет составлять один, как показано на рисунке 2.2 [25].

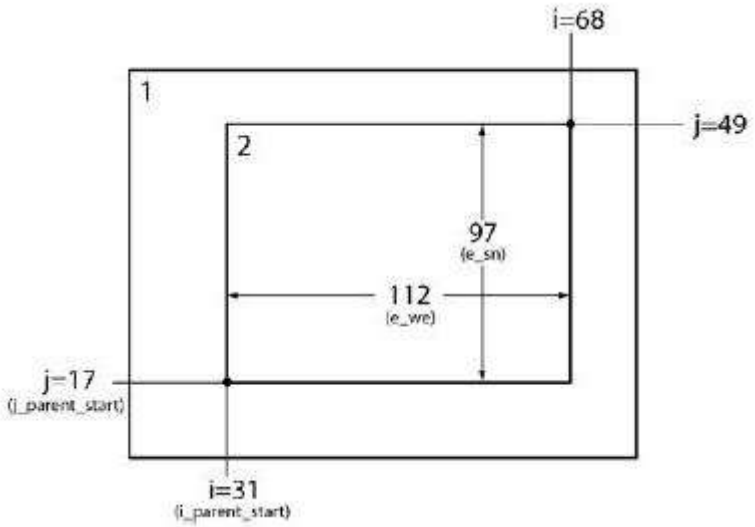

Рисунок 2.2 – Пример построения вложенных областей [25]

Переменные, которым нужен список значений для вложенности, включают в себя: parent_id, parent_grid_ratio, i_parent_start, j_parent_start, s_we , e_we, s_sn, e_sn и geog_data_res .

В namelist.wps, первое изменение является списком имен переменной max_dom, которая должна быть установлена на общее число вложенных сеток в моделировании, в том числе грубого домена. Определив количество вложений, всем другим затронутым переменным namelist должен быть присвоен список из N значений, по одному для каждого вложения. Единственное другое изменение в записи имен «share» - это время начала и окончания. Здесь должно быть задано начальное и конечное время для каждого вложения с ограничением, что вложение не может начинаться до его родительского домена или заканчиваться после его родительского домена; также предполагается, что вложенным сеткам даются начальные и конечные времена, которые идентичны желаемым временам начала их при запуске WPS. Это связано с тем, что вложенные сетки получают свои боковые граничные условия из своего родительского домена, и поэтому для WPS требуется только начальное время для них. Важно отметить, что при запуске WRF фактические начальные и конечные времена для всех вложенных сеток должны быть указаны в файле WRF namelist.input .

Оставшиеся изменения относятся к записи геодезического «geogrid». В этой записи родительский элемент каждой вложенной сетки должен быть указан с переменной parent_id . Каждая вложенная сетка должна быть ребенком ровно одной вложенной сетки, а грубый домен является его собственным родителем. Связано с коэффициентом уточнения вложенных сеток по отношению к родительской сетке, которая задается переменной parent_grid_ratio. Это отношение определяет номинальный интервал сетки для вложенных сеток по отношению к интервалу между сеткой его родителя. Примечание: для WRF-NMM это отношение всегда должно быть равно 3.

Затем нижний левый угол вложенной сетки указывается как (i,j) в родительском домене. Эта спецификация выполняется через переменные i_parent_start и j_parent_start, и указанное местоположение указывается относительно точки массы на E-сетке. Наконец, размеры каждой вложенной сетки в точках сетки даны для каждого гнезда, используя переменные s_we,

e_we , s_sn и e_sn . Пример показан на рисунке ниже, где можно увидеть, как будет найдена каждая из вышеупомянутых переменных. В настоящее время начальные значения точки сетки в направлениях юг-север (s_sn) и запад-восток (s_we) должны быть указаны как 1, а конечные значения точки сетки (e_sn и e_we) определяют, по существу, полные размеры вложенных сеток.

Примечание: для WRF-NMM переменные i_parent_start , j_parent_start, s_we, e_we, s_sn и e_sn игнорируются во время обработки WPS, потому что для каждого уровня вложенной сетки создаются статические файлы с более высоким разрешением для каждого уровня. Однако эти переменные используются при работе модели WRF-NMM. Выбор между USGS и классификациями землепользования на основе MODIS.

По умолчанию программа геодезистов будет интерполировать категории землепользования из данных категории USGS 24. Тем не менее, пользователь может выбрать альтернативный набор категорий землепользования на основе MODIS растительного покрова классификации Международной программы Геосфера-биосфера и модифицированной для поверхности земли модели NOAH. Хотя данные на основе MODIS содержат 20 категорий землепользования, эти категории не являются подмножеством из 24 категорий USGS; пользователи, интересующиеся конкретными категориями в любом наборе данных, могут найти список классов землепользования в разделе по землепользованию и почвенным категориям. Следует подчеркнуть, что категории, основанные на MODIS, должны использоваться только с моделью поверхности земли NOAH в WRF. 20-категории данных землепользования в MODIS основе могут быть выбраны вместо данных USGS во время выполнения через geog_data_res переменной в «геосетки» список имен записи. Это достигается путем префикса каждого разрешения статических данных строкой «modis_30s +».

Эффект этого изменения заключается в том, чтобы проинструктировать программу geogrid в каждой записи файла GEOGRID.TBL для разрешения

статических данных с разрешением, обозначенным «modis_30s», и если такое разрешение недоступно, вместо этого найдите разрешение, обозначенное строкой, следующей за «+». Таким образом, для входа GEOGRID.TBL, поля LANDUSEF используют данные землепользования на основе MODIS, которые идентифицируются со строкой «modis_30s». В стороне, когда ни одна из резолюций, указанных для домена в geog_data_res, не будет найдена в записи GEOGRID.TBL, будет использоваться разрешение, обозначенное как «default» [25].

3 Численные эксперименты и анализ результатов

3.1 Исследуемая ситуация и описание синоптического процесса

Для проведения исследований был выбран случай сильного шторма, который наблюдался в Москве 29 мая 2017, где максимальная скорость ветра достигала 28 м/с (по шкале Бофорта классифицируется, как сильный шторм). Данное событие стало самым смертоносным подобным стихийным бедствием в Москве после смерча 1904 года.

В 15–16 часов территорию Москвы пересёк атмосферный фронт. Синоптическая ситуация определялась южной периферией подвижного циклона, который смещался с Финского залива на восток. Утром столицу пересек теплый атмосферный фронт. После попадания в теплый сектор циклона, в Москве температура возросла до 25 градусов выше нуля. Его прохождение пришлось на период максимального прогрева и как следствие максимальной активности. Шквалистый ветер сопровождался грозами, ливнями, в некоторых местах даже градом. Метеостанция «Волоколамск» зафиксировала град диаметром 6 мм. В клину за пару часов выпало более половины месячной нормы осадков (31 мм). Наземные и радарные наблюдения зафиксировали грозы, ливни и сильный шквалистый ветер. Порывы ветра варьировались от 12 до 20 м/с. Метеостанция «Домодедово» в 16:10 отметила штормовой ветер (24 м/с). Почти ураганную скорость ветра (около 30 м/с) отметили несколько автоматических метеостанций, установленные на высотных зданиях в центре Москвы. По области разброс составил от 12 до 30 м/с. Наиболее сильный ветер отметили метеостанции: «Немчиновка» (26 м/с), «Черусти» (27 м/с), «Шереметьево» (28 м/с) и «Внуково» (30 м/с). К вечеру ветер стих. Сила этих ветров была недооценена прогностическими моделями. В прогнозе модели UFS в 12:00 по всему региону прогнозировалось, что

максимальные порывы будут составлять около 60 км/ч или менее (16-17 м/с). Однако согласно отчетам METAR ветер достигал максимума 27 м/с (97 км/ч) – значительная разница очевидна.

На рисунке 3.1 представлена информация с метеорологического радара в 12:30 часов по Гринвичу. На рисунке 3.1 представлена информация с метеорологического радара в 12:30 по Гринвичу.

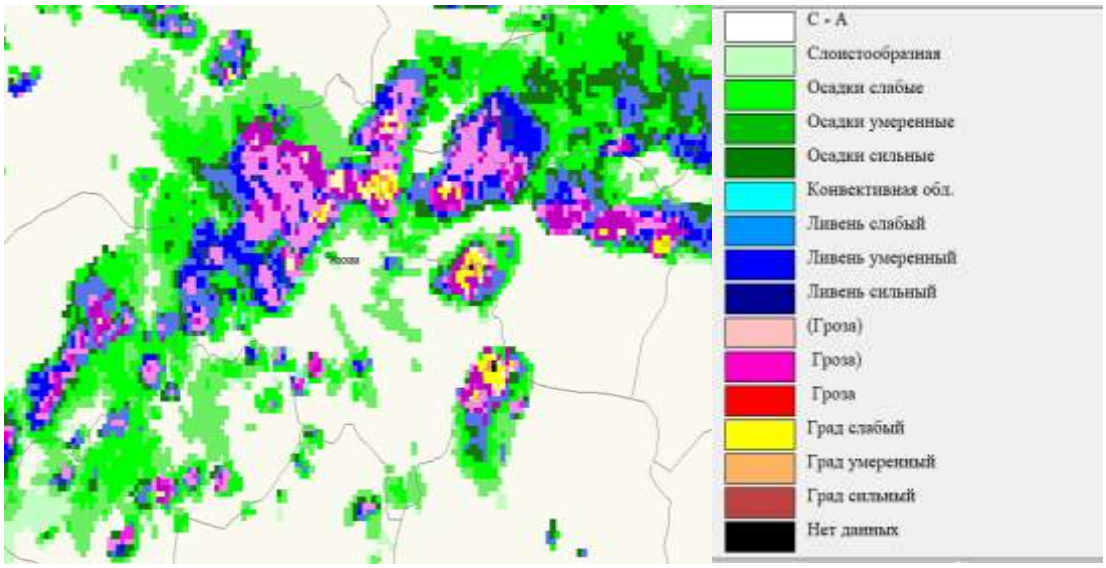

Рисунок 3.1 – Синоптическая ситуация по радару в 12:30 по Гринвичу

3.2 Используемая сетка и её характеристики

Анализ сильного шторма был выполнен с помощью мезомасштабной модели атмосферы. Для исследования использовалась модель WRF-ARW. На рисунке 3.2 показана географическая привязка расчетных областей, где в центре находится Москва. Работа проходила в два этапа. Расчеты выполнялись, как на обычной сетке (рисунок 3.2 (слева)), так и на вложенной сетке (рисунок 3.2 (справа)).

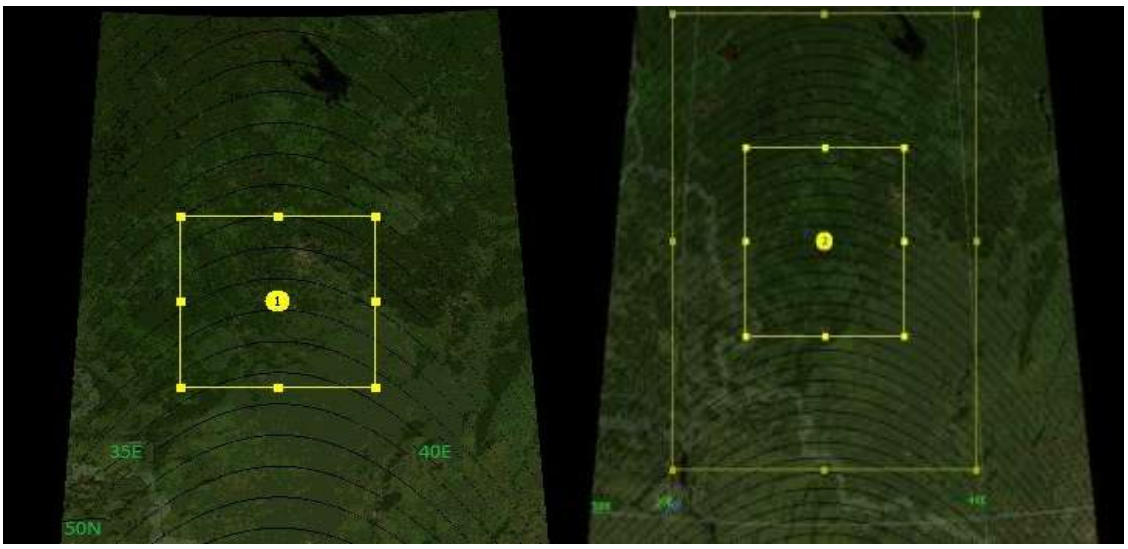

Рисунок 3.2 – Географическая привязка расчетных областей для обычной сетки (слева) и вложенной сетки (справа)

На первом этапе использовалась обычная сетка, содержащая 300 x 300 узлов с шагом по горизонтали 1 км и шагом по времени 5 с. Количество уровней по высоте – 35.

На втором этапе использовались вложенные сетки. Основная сетка имеет 361 x 370 узлов с шагом по горизонтали 3 км и шагом по времени 30 секунд. Вложенная сетка имеет 230 x 300 узлов с шагом по горизонтали 1 км и шагом по времени 10 секунд. Количество уровней по высоте – 35.

Проводилось множество численных экспериментов (18) для выбора лучшей параметризации физических процессов. Исследовалось влияние параметризации следующих процессов на качество моделировании:

1. Пограничного слоя атмосферы. Рассматривались параметризации Меллора-Ямада-Янича и схема MRF. Варьировалось время между вызовами параметризаций пограничного слоя атмосферы.

2. Конвекции. Рассматривались схемы Каина-Фритша, Беттса-Миллера-Янича, ансамблевая схема Грелла-Девени, старая схема Каина-Фритша.

3. Турбулентность. Рассматривались параметризации на основе оценки условий перемешивания в физическом пространстве, оценки вихревого

коэффициента турбулентности (приближение 1.5 порядка TKE), приближение Смагоринского первого порядка, Горизонтальное приближение Смагоринского первого порядка.

Для всех параметризаций варьировалось частота вызов параметризаций. В таблице 3.1 представлена информация об определении параметризаций в файлах namelist.

Таблица 3.1 – Определение параметризаций в файлах namelist модели WRF

Название параметризации	Характеристика параметризации
Схема YSU	bl_pbl_physics = 1
Схема Меллора-Ямада-Янича	bl_pbl_physics = 2 и sf_sfclay_physics = 2
Схема MRF	bl_pbl_physics = 99
Схема Каина-Фритша	Cu_physics = 1
Схема Беттса-Миллера-Янича	Cu_physics = 2
Ансамблевая схема Грелла-Девени	Cu_physics = 3
Старая схема Каина-Фритша	Cu_physics = 99
Оценка условия перемешивания в физическом пространстве	diff_opt = 2
Оценки вихревого коэффициента турбулентности (приближение 1,5 порядка)	Km_opt = 2
Приближение Смагаринского первого порядка	Km_opt = 3
Горизонтальное приближение Смагаринского первого порядка	Km_opt = 4

В таблице 3.2 представлена информация о численных экспериментах и определено их название, которое будет использовано в дальнейшем.

Таблица 3.2 – Описание численных экспериментов

Особенность	Номер эксперимента
Разница между физическими вызовами пограничного слоя, равная одной минуте	Эксперимент 1
Схема Меллора-Ямада-Янича	Эксперимент 2
Схема MRF	Эксперимент 3
Оценка условия перемешивания в физическом пространстве и Горизонтальное приближение Смагаринского первого порядка	Эксперимент 4
Оценка условия перемешивания в физическом пространстве и Оценки вихревого коэффициента турбулентности (приближение 1,5 порядка)	Эксперимент 5
Оценка условия перемешивания в физическом пространстве и Приближение Смагаринского первого порядка	Эксперимент 6
Схема Беттса-Миллера-Янича	Эксперимент 7
Ансамблевая схема Грелла-Девени	Эксперимент 8
Старая схема Каина-Фритша	Эксперимент 9

В таблице 3.3 представлены координаты точек для каждой сетки (обычной и вложенной), в которых проводился сравнительный анализ для определения лучшей параметризации на данной территории (см. рисунок 3.2). Всего выбрано пятнадцать точек.

Таблица 3.3 – Координаты точек в рассматриваемой области

Номер точки	Обычная сетка		Вложенная сетка	
	Широта	Долгота	Широта	Долгота
1	55,25	37,27	55,71	37,41
2	56,18	36,24	58,55	34,28
3	54,94	37,3	54,76	37,44
4	55,39	36,41	56,17	34,81
5	55,47	37,78	56,33	39,03
6	55,66	37,54	56,9	38,36
7	55,72	37,03	57,14	36,77
8	55,55	37,99	56,55	39,71
9	56,01	37,45	57,98	38,17
10	55,95	36,69	57,83	35,74
11	55,99	37,78	57,89	39,19
12	55	37,78	54,9	38,9
13	54,59	36,54	53,74	35,14
14	54,6	36,41	53,8	34,78
15	55,07	37,13	55,18	36,95

3.3 Анализ результатов численных экспериментов на обычной сетке

Для анализа были выбраны следующие метеорологические величины:

1. Скорость ветра (см. рисунок 3.3 (обычная сетка) и 3.8 (вложенная сетка)).
2. Направление ветра.
3. Температура на уровне 2-х метров (см. рисунок 3.4 и 3.9).
4. Потенциальная температура (см. рисунок 3.5 и 3.10).
5. Давление на уровне моря (см. рисунок 3.6 и 3.11).
6. Геопотенциальная высота (см. рисунок 3.7 и 3.12).

3.3.1 Скорость ветра

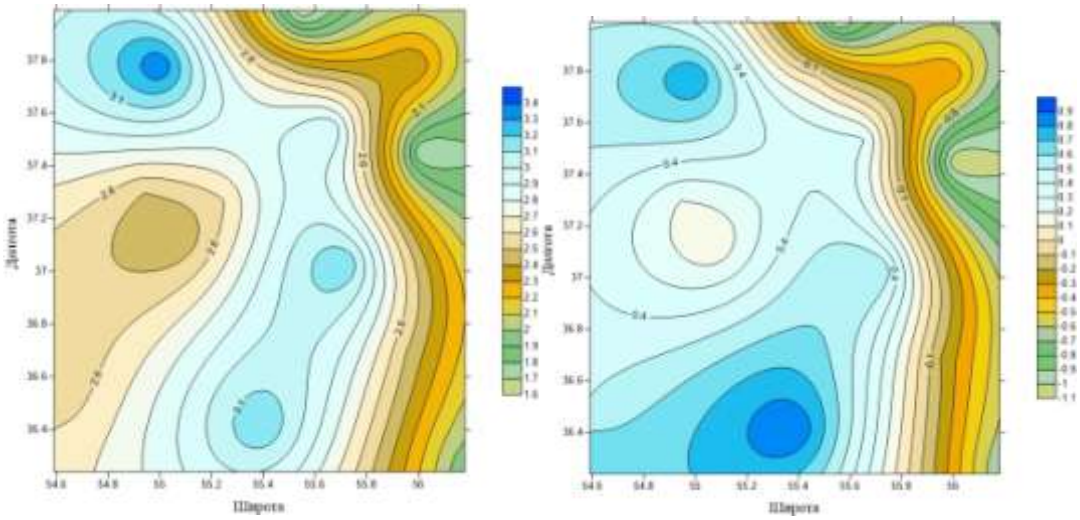

Рисунок 3.3.–Прогнозируемое поле скорости ветра на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением скорости с прогнозируемым значением (справа)

Для первой точки с координатами 55,25 с.ш. и 37.27 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,6 до 4,0 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,4 м/с. Для данной точки лишь первый эксперимент спрогнозировало с наименьшей ошибки, которая была 0,3 м/с. Максимальная ошибка составила 1,7 м/с (эксперимент 8). Остальные параметризации завышали значения скорости ветра, чем это было фактически. Её значения варьировались от 0,7 до 1,3 м/с.

Для второй точки с координатами 56,18 с.ш. и 36,24 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 1,4 м/с до 2,3 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,6 м/с. Все параметризации занижали прогнозируемую скорость ветра. Минимальная ошибка была спрогнозирована экспериментами 4, 5, 6 и 9. Она составила -0,3 м/с. Максимальная ошибка была в эксперименте 2 (ошибка -1,2 м/с). В остальных случаях она варьировалась от -0,4 до -0,7 м/с.

Для третьей точки с координатами 54,94 с.ш. и 37,3 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,1 м/с до 3,5 м/с. Фактическое значение

скорости ветра было 2,3 м/с. Все параметризации завышали прогнозируемую скорость, кроме одной. Это был эксперимент 6 и ошибка составила -0,2 м/с. С помощью первого, второго и восьмого эксперимента ошибка была небольшой. Она составила, соответственно, 0,2 м/с, 0,0 м/с и 0,1 м/с. В остальных случаях ошибка варьировалась от 0,7 до 0,9 м/с.

Для четвертой точки с координатами 55,39 с.ш. и 36,41 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,1 м/с до 3,5 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,2 м/с. Все параметризации завышали прогнозируемую скорость. Эксперимент 1 и 2 спрогнозировали скорость ветра с минимальной ошибкой 0,9 м/с, а эксперимент 9 спрогнозировал с максимальной ошибкой 1,3 м/с. В остальных случаях она варьируется от 1 до 1,2 м/с.

Для пятой точки с координатами 55,47 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,2 м/с до 2,8 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,6 м/с. Практически все параметризации занижали прогнозируемую скорость ветра, кроме четырех экспериментов (1, 3, 4 и 5). В первом эксперименте прогнозируемый результат был равен фактическому значению, а в оставшиеся трех случаях ошибка составила 0,2 м/с. В экспериментах, где прогностическое значение занижалась. Ошибка варьировалась от -0,1 до -0,3 м/с.

Для шестой точки с координатами 55,66 с.ш. и 37,54 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,0 м/с до 4,4 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,6 м/с. Все параметризации завышали прогнозируемое значение скорости, но лишь эксперименты 1 и 2 имели самые минимальные ошибки 0,3 м/с и 0,5 м/с. В остальных случаях ошибка варьировалась от 1,2 до 1,8 м/с.

Для седьмой точки с координатами 55,72 с.ш. и 37,03 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2 м/с до 3,2 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,7 м/с. Все параметризации спрогнозировали значение, которые

практически соответствовали фактическому значению, но эксперименты 1 и 2 имеют наибольшие ошибки 0,6 м/с и -0,7 м/с.

Для восьмой точки с координатами 55,55 с.ш. и 37,99 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 1,6 м/с до 2,9 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,6 м/с. Все параметризации спрогнозировали с минимальной ошибкой (от 0,1 до 0,3 по модулю). Лишь эксперимент 1 спрогнозировал скорость 1,6 м/с, что меньше на 1 м/с, чем фактическое значение.

Для девятой точки с координатами 56,01 с.ш. и 37,45 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 1,7 м/с до 2,2 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,8 м/с. Все параметризации занижали прогнозируемую скорость ветра. Эксперимент 1 имеет максимальную ошибку -1,1 м/с. Эксперимент 7 имеет минимальную ошибку -0,6 м/с. Остальные ошибки варьируются от -0,7 до -0,9 м/с.

Для десятой точки с координатами 55,95 с.ш. и 36,69 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,5 м/с до 3,6 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,7 м/с. Все параметризации завышали фактическое значение скорости, кроме эксперимента 1 (ошибка -0,2 м/с). В эксперименте 2 ошибка составила 0,5 м/с, а в остальных случаях она варьируются от 0,8 до 0,9 м/с.

Для одиннадцатой точки с координатами 55,99 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,1 м/с до 3,0 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,6 м/с. Все параметризации имеют примерно одинаковую ошибку по модули (от 0,3 до 0,6 м/с). Эксперименты 2 и 3 имеют самые минимальные разницы между прогнозируемым и фактическим значением. Она составила 0,2 м/с.

Для двенадцатой точки с координатами 55,00 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,1 м/с до 4,3 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,6 м/с. Все параметризации завышают

прогнозируемую скорость ветра, но лишь в эксперименте 7 имеет минимальную ошибку. Она составила 0,2 м/с. В остальных случаях она варьируется от 0,6 до 1,7 м/с (максимум в экспериментах 3 (значение 1,6 м/с), 4 (значение 1,7 м/с) и 5 (значение 1,6 м/с).

Для тринадцатой точки с координатами 54,59 с.ш. и 36,54 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,4 м/с до 3,7 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,0 м/с. Все параметризации примерно одинаково завышают прогнозируемую скорость ветра, но эксперименты 1 и 6 имеют самую наименьшую ошибку 0,5 м/с и 0.4 м/с, а эксперимент 9 имеет самую большую ошибку 1,7 м/с. В остальных случаях она варьируется от 0,8 до 1,1 м/с.

Для четырнадцатой точки с координатами 54,60 с.ш. и 36,41 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,2 м/с до 3,2 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2 м/с. Все параметризации примерно одинаково завышают прогнозируемую скорость ветра. Эксперимент 2 имеет минимальную ошибку 0,2 м/с. В остальных случаях ошибка варьируется от 0,6 до 1,2 м/с.

Для пятнадцатой точки с координатами 55,07 с.ш. и 37,13 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,0 м/с до 2,9 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,2 м/с. Большинство параметризации имеют небольшую ошибку прогнозируемой скорости по модулю (от 0,1 м/с до 0,3 м/с). В экспериментах 3, 4 и 5 прогностические значение имеют самые большие ошибки. Они составили 0,7 м/с , 0,7 м/с и 0,8 м/с. Эксперимент спрогнозировал точное значение, которое наблюдалось фактически.

Для всей области прогноз оказался успешным, так как разница между прогнозируемым и фактическим значениями скорости ветра не превышало больше 2 м/с.

3.3.2 Направление ветра

Для получения данных о направление ветра были использованы некоторые формулы. Формула (3.1) определяет фактическое значение скорости ветра на 10 метрах. Формула (3.2) вычисляет угол с помощью арксинуса. Формулы (3.3) определяет сначала, в какую четверть попадает значение угла, а затем вычисляет её прогнозируемое значение.

$$u10fact(m) = \sqrt{u10(ilon, jlat)^2 + v10(ilon, jlat)^2} \quad (3.1)$$

где $u10(ilon, jlat)$ – горизонтальная компонента скорости ветра в заданной точке

$v10(ilon, jlat)$ – вертикальная компонента скорости ветра в заданной точке

$u10fact(m)$ – Прогнозируемое значение скорости ветра на 10 м

$$som(m) = \left(\text{asin}(\frac{u10(ilon, jlat)}{u10fact(m)}\right) * \frac{180}{3.14}) \quad (3.2)$$

где $som(m)$ – значение угла в данной точке

$$\begin{aligned} &u10(ilon, jlat) > 0 \text{ и } v10(ilon, jlat) > 0, \text{то } ugolfact(m) \\ &\quad = 90 - som(m) \\ &u10(ilon, jlat) > 0 \text{ и } v10(ilon, jlat) < 0, \text{то } ugolfact(m) \\ &\quad = 180 - som(m) \\ &u10(ilon, jlat) < 0 \text{ и } v10(ilon, jlat) < 0, \text{то } ugolfact(m) \\ &\quad = 270 - som(m) \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$u10(ilon, jlat) < 0 \text{ и } v10(ilon, jlat) > 0, \text{то } ugolfact(m) = 270 + som(m)$$

Анализ по направлению сделать сложно. Во-первых, для расчета направление ветра были использованы данные, которые получили во время параметризаций. Во-вторых, в нескольких случаях выдавал неверное направление ветра (ошибка достигала больше 90 градусов).

3.3.3 Температура на 2-х метрах

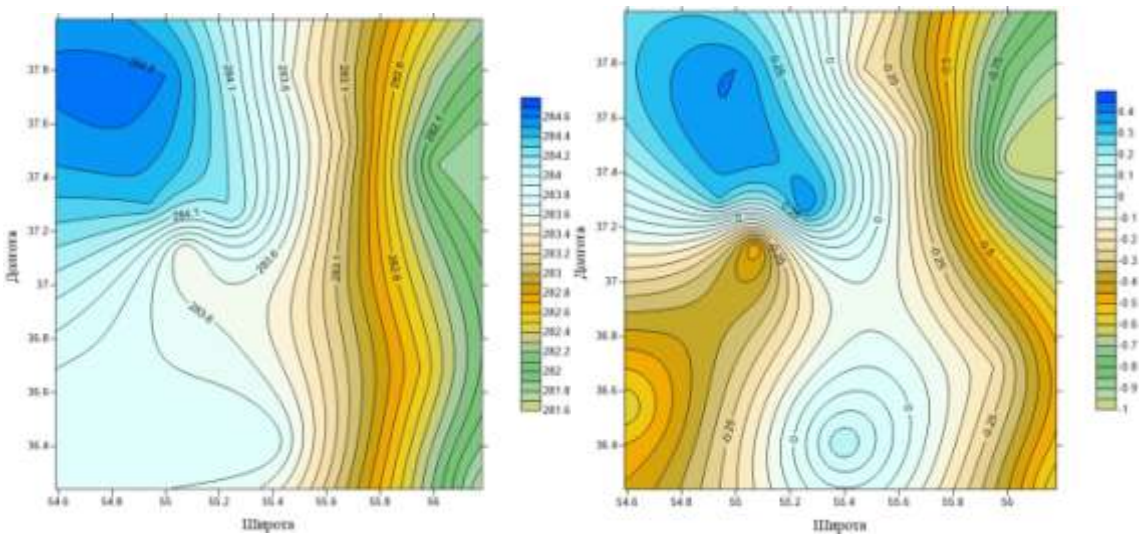

Рисунок 3.4 – Прогнозируемое поле температуры на высоте 2-х метров на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем температуры на высоте 2-ух метров с прогнозируемым значением (справа)

Для первой точки с координатами 55,25 с.ш. и 37,27 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 284,2 до 284,8 К. Фактическое значение температуры 283,8 К. Все параметризации завышали прогностическое значение. Максимальная ошибка 1,1 К (эксперимент 8). Минимальная ошибка равняется 0,1 К (эксперимент 6). В остальных случаях ошибка варьировалась от 0,4 до 0,8 К.

Для второй точки с координатами 56,18 с.ш. и 36,24 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 281,3 до 283,3 К. Фактическое значение температуры 283,3 К. Максимальная ошибка была -1,0 К и -0,6 К (эксперимент 1 и 2). Во всех остальных случаях прогностический результат был равен фактическому значению.

Для третьей точки с координатами 54,94 с.ш. и 37,30 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 284,3 до 286,2 К. Фактическое значение температуры – 284,1 К. Максимальная ошибка 2,1 К (эксперимент 9), а также в экспериментах 6 и 8, где ошибка составила 2,0 К. В седьмом эксперименте ошибка составила 1,8 К. Во всех остальных случаях ошибка варьировалась от 0,3 до 0,4 К.

Для четвертой точки с координатами 55,39 с.ш. и 36,41 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,4 до 284,0 К. Фактическое значение температуры 283,6 К. Максимальная ошибка 0,4 К возникла в экспериментах 3,4 и 5. Прогнозируемые значения были меньше фактических, в экспериментах 6 и 7, а в остальных точках они были завышены. В остальных случаях ошибка варьировалась от 0,1 до 0,4 К.

Для пятой точки с координатами 55,47 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 282,9 до 283,7 К. Фактическое значение температуры 283,7 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -0,8 К (эксперимент 7) и -0,7 К (эксперимент 6). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,1 до -0,5 К. возникла, когда использовалась 7-ая и 6-ая, где ошибка составила -0,7 К. При параметризации в третьем эксперименте прогностический результат равняется фактическому значению.

Для шестой точки с координатами 55,66 с.ш. и 37,54 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,2 до 283,7 К. Фактическое значение температуры 283,4 К. Все прогнозируемые значения были больше фактического или был равен (эксперимент 5), кроме эксперимента 1, где

ошибка была отрицательная (-0,2 К). В остальных случаях ошибка варьировалась от 0,1 до 0,3 К.

Для седьмой точки с координатами 55,72 с.ш. и 37,03 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 282,4 до 283,2 К. Фактическое значение температуры 283,2 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического или были равны (эксперимент 3, 4, 5). Максимальная ошибка -0,7 К (эксперимент 2), а минимальная ошибка -0,2 К (эксперимент 1). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,4 до -0,6 К.

Для восьмой точки с координатами 55,55 с.ш. и 37,99 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 282,6 до 283,6 К. Фактическое значение температуры 283,6 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического или были равны (эксперимент 3, 4, 5). Максимальная ошибка -1,0 К (эксперимент 7) и -0,8 К (эксперимент 2). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,3 до -0,6 К.

Для девятой точки с координатами 56,01 с.ш. и 37,45 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 280,7 до 282,1 К. Фактическое значение температуры 283,0 К. Все параметризации занижали фактическое значение. Максимальная ошибка -2,3 К (эксперимент 7), -1,8 К (эксперимент 5, 7, 8) и -1,6 К (эксперимент 2). Минимальная ошибка -0,9 К (эксперимент 4). В остальных случаях ошибка варьировалась от -1,0 до -1,2 К.

Для десятой точки с координатами 55,95 с.ш. и 36,69 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 282,6 до 284,9 К. Фактическое значение температуры 282,8 К. Все прогнозируемые значения были больше фактического, кроме эксперимента 1, где ошибка составила -0,2 К. В остальных случаях ошибка составила 0,1 К, а в экспериментах 3 и 7 значения прогноза и факта были равны.

Для одиннадцатой точки с координатами 55,99 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 281,3 до 282,3 К. Фактическое значение температуры 283,1 К. Все прогнозируемые значения были меньше

фактического. Максимальная ошибка -1,9 К (эксперимент 6), -1,8 К (эксперименты 7 и 8) и -1,7 К (эксперимент 9). Минимальная ошибка составила -0,8 К (эксперимент 1). В остальных случаях ошибка варьировалась от -1,2 до -1,4 К.

Для двенадцатой точки с координатами 55,00 с.ш. и 37.78 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 284,6 до 285,5 К. Фактическое значение температуры 284,1 К. Все прогнозируемые значения были больше фактического. Максимальная ошибка 1,4 К (эксперимент 6) и 1,1 К (эксперименты 7, 8, 9). Минимальная ошибка 0,4 К (эксперимент 1). В остальных случаях ошибка варьировалась от 0,5 до 0,8 К.

Для тринадцатой точки с координатами 54,59 с.ш. и 36,54 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,1 до 284,1 К. Фактическое значение температуры 284,3 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -1,0 К (эксперимент 8). Минимальная ошибка составила -0,1 К (эксперимент 7). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,2 до -0,6 К.

Для четырнадцатой точки с координатами 54,60 с.ш. и 36.41 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,2 до 284,1 К. Фактическое значение температуры 284,3 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -1,1 К (эксперимент 2). Минимальная ошибка составила -0,2 К (эксперимент 3). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,3 до -0,5 К.

Для пятнадцатой точки с координатами 55,07 с.ш. и 37,13 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,3 до 284,8 К. Фактическое значение температуры 283,9 К. В экспериментах 1, 2, 3, 4 и 5 прогностический результат был меньше фактического значения. В эксперименте 7 ошибка 0,0 К (то есть прогноз равен факту). В остальных случаях ошибка варьируется от 0,5 до 0,9 К.

3.3.4 Потенциальная температура

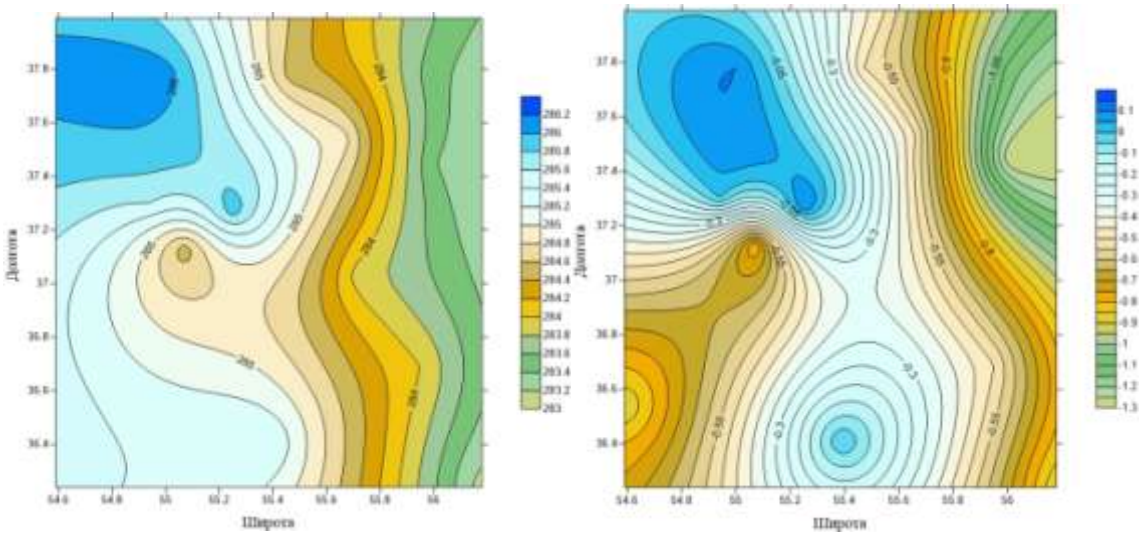

Рисунок 3.5 – Поле потенциальной температуры на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем потенциальной температуры с прогнозируемым значением (справа)

Для первой точки с координатами 55,25 с.ш. и 37,27 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 285,6 до 286,6 К. Фактическое значение температуры 285,8 К. Максимальная ошибка 0,8 К (эксперимент 8). Минимальная ошибка равняется 0,1 К (эксперимент 1). Все параметризации завышали значение температуры. Ошибка варьировалась от 0,2 до 0,5 К. Лишь в эксперименте 6 ошибка составила -0,2 К.

Для второй точки с координатами 56,18 с.ш. и 36,24 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 282,7 до 283,8 К. Фактическое значение температуры 284,0 К. Максимальная ошибка -1,3 К (эксперимент 2) и -0,9 К (эксперимент 1) Во всех остальных случаях прогностические значения были занижены. Ошибка составила в оставшихся экспериментах -0,3 К.

Для третьей точки с координатами 54,94 с.ш. и 37,30 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 285,6 до 287,4 К. Фактическое значение температуры 285,6 К. Максимальная ошибка 1,8 К (эксперимент 6 и 9), 1,7 К (эксперимент 8) и 1,5 К (эксперимент 7). В экспериментах 1, 2, 4 и 5

прогностический результат был равен фактическому значению. В эксперименте 2 ошибка составила 0,1 К.

Для четвертой точки с координатами 55,39 с.ш. и 36,41 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 284,9 до 285,5 К. Фактическое значение температуры 285.4 К. Прогнозируемый результат был меньше фактического значения только в экспериментах 2 (ошибка -0,1 К), 6(ошибка -0,5 К), 7 (ошибка -0,4 К), 8 (ошибка -0,2 К), 9 (ошибка -0,2 К). В экспериментах 3, 4, 5 ошибка составила 0,1 К. В эксперименте 1 прогноз равен факту.

Для пятой точки с координатами 55,47 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,9 до 284,7 К. Фактическое значение температуры 285,0 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -1,1 К (эксперимент 7) и -1,0 К (эксперимент 6). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,3 до -0,9 К.

Для шестой точки с координатами 55,66 с.ш. и 37,54 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 285,1 до 285,4 К. Фактическое значение температуры 285,4 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактических, кроме экспериментов 6, 7, 8. Максимальная ошибка -0,5 К (эксперимент 1). В экспериментах со 2, 3, 4, 5 и 9 ошибка варьировалась от -0,1 до -0,2 К. В экспериментах 6, 7 и 8 прогностический результат был равен фактическому значению.

Для седьмой точки с координатами 55,72 с.ш. и 37,03 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,4 до 284,1 К. Фактическое значение температуры 284,4 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -1,0 К (эксперимент 2) и -0,9 К (эксперимент 8 и 9). Минимальная ошибка -0,3 К (эксперименты 3, 4, 5). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,5 до -0,8 К.

Для восьмой точки с координатами 55,55 с.ш. и 37,99 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 283,5 до 284,6 К. Фактическое значение температуры 284,8 К. Все прогнозируемые значения были меньше

фактического. Максимальная ошибка -1,3 К (эксперимент 7) и -1,1 К (эксперимент 2). Минимальная ошибка -0,3 К (эксперимент 3 и 5) и -0,2 К (эксперимент 4). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,5 до -0,9 К.

Для девятой точки с координатами 56,01 с.ш. и 37,45 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 282,2 до 283,6 К. Фактическое значение температуры 284,8 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -2,6 К (эксперимент 7). Минимальная ошибка -1,2 К (эксперимент 4) и -1,3 К (эксперименты 1 и 5). В остальных случаях ошибка варьировалась от -1,5 до -2,1 К.

Для десятой точки с координатами 55,95 с.ш. и 36,69 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 284,0 до 284,3 К. Фактическое значение температуры 284,5 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -0,5 К (эксперимент 1). Во всех остальных случаях ошибка составила -0,2 К и лишь в одной 0,3 К (эксперимент 6).

Для одиннадцатой точки с координатами 55,99 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 282,5 до 283,5 К. Фактическое значение температуры 284,6 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -2,2 К (эксперимент 6), -2,1 К (эксперимент 7 и 8) и -2.0 К (эксперимент 9). Минимальная ошибка -1,1 К (эксперимент 1). Во всех остальных случаях ошибка варьировалась от -1,4 до -1,6 К.

Для двенадцатой точки с координатами 55,00 с.ш. и 37,78 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 286,1 до 287,1 К. Фактическое значение температуры 285,9 К. Все прогнозируемые значения были больше фактического. Максимальная ошибка 1,1 К (эксперимент 6) и 0,8 К (эксперименты 7, 8 и 9). Минимальная ошибка 0,1 К (эксперимент 1). В остальных случаях ошибка варьировалась от 0,2 до 0,5 К.

Для тринадцатой точки с координатами 54,59 с.ш. и 36,54 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 285,1 до 286,5 К. Фактическое значение температуры 286,4 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического, но лишь в эксперименте 9 прогнозируемое значение было больше фактического на 0,2 К. Максимальная ошибка -1,3 К (эксперимент 8). В остальных случаях ошибка варьируется от -0,4 до -0,9 К.

Для четырнадцатой точки с координатами 54,60 с.ш. и 36,41 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 284,9 до 285,8 К. Фактическое значение температуры 286,4 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического. Максимальная ошибка -1,4 К (эксперимент 2). Минимальная ошибка -0,5 К (эксперимент 3). В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,6 до -0,8 К.

Для пятнадцатой точки с координатами 55,07 с.ш. и 37,13 в.д. прогнозируемая температура варьировалась от 284,4 до 285,9 К. Фактическое значение температуры 285,3 К. Все прогнозируемые значения были меньше фактического, кроме экспериментов 6, 8 и 9. Ошибка составили 0,5 К, 0,2 К и 0,6 К. В остальных случаях ошибка варьировалась от -0,3 до -0,9 К.

3.3.5 Давление на уровне моря

Максимальная ошибка составила всего 0,2 гПа. В остальных значениях во всех точках прогностические значения были равны фактическому или ошибка составляла 0,1 гПа.

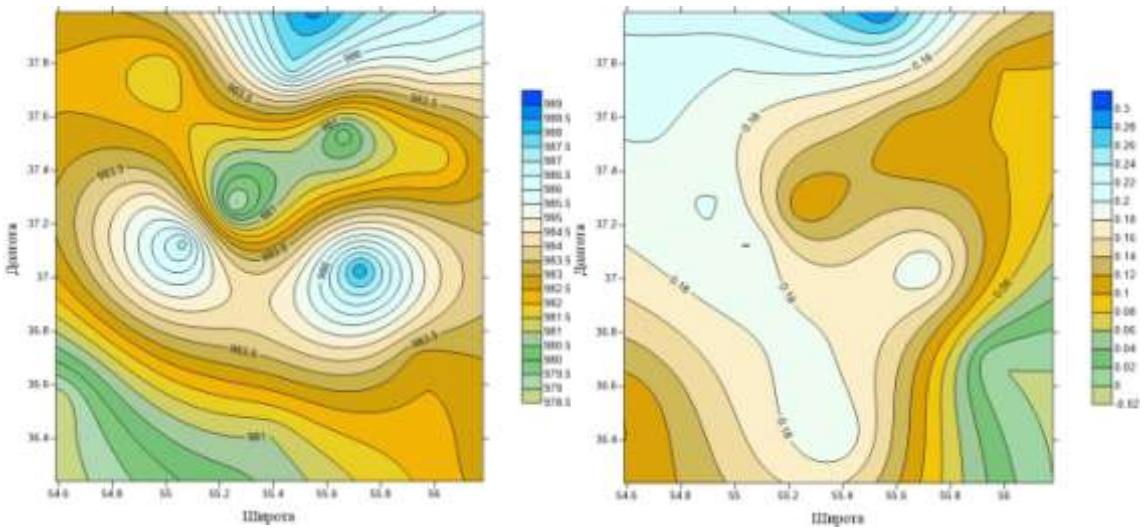

Рисунок 3.6 – Поле давления над уровнем моря на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем давления над уровнем моря с прогнозируемым значением (справа)

3.3.6 Геопотенциальная высота

Максимальная ошибка составила -21.3 метра. Прогностические значения, как завышались или занижались, по отношению к фактическому. В среднем ошибка составляла 10 метров.

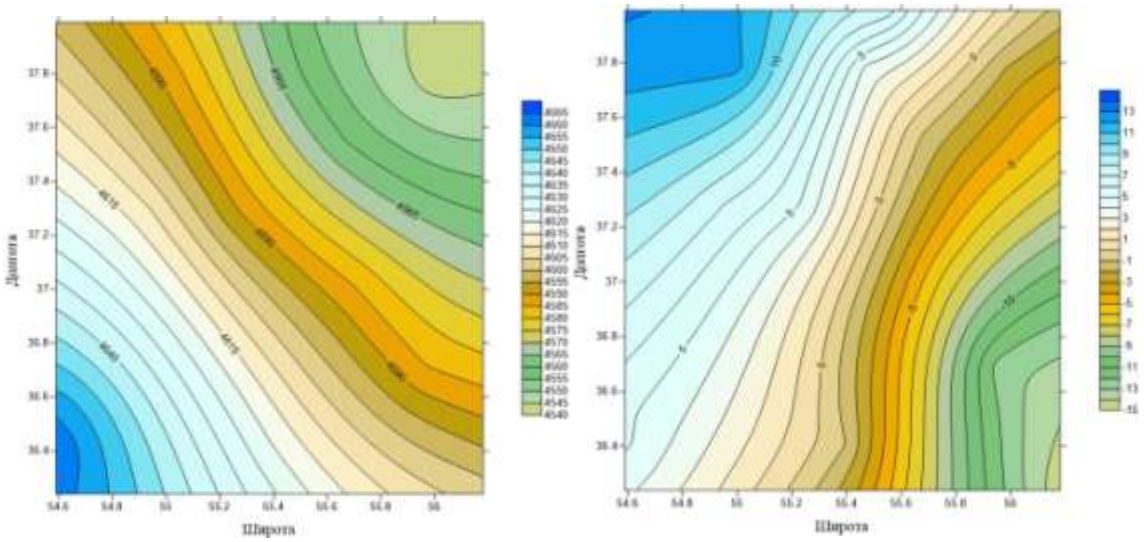

Рисунок 3.7 – Поле геопотенциальноый высоты на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем геопотенциальной высоты с прогнозируемым значением (справа)

3.4 Анализ результатов численных экспериментов на вложенной сетке

3.4.1 Скорость ветра

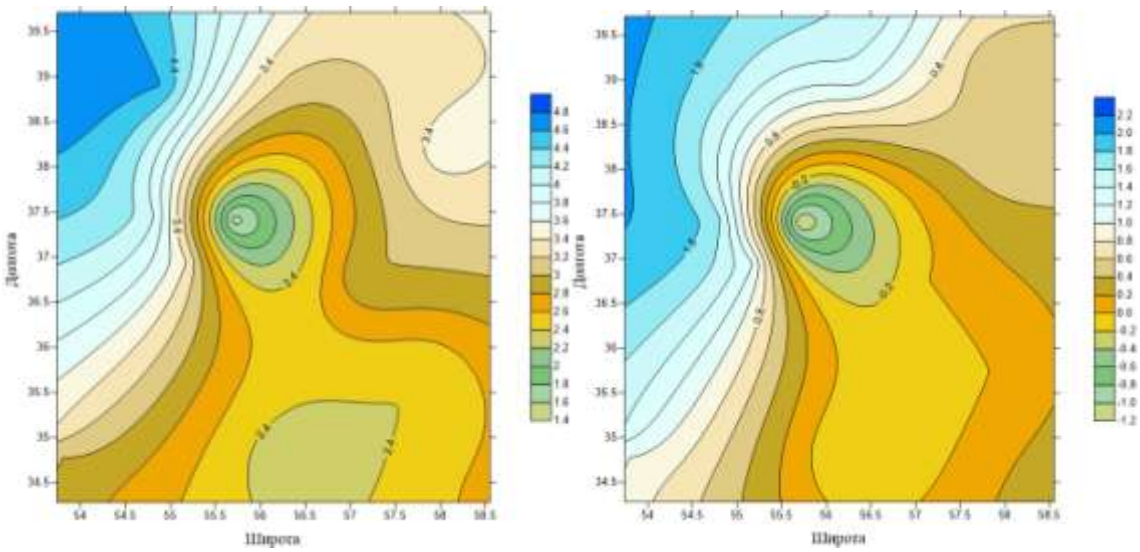

Рисунок 3.8 – Поле скорости ветра на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем скорости ветра с прогнозируемым значением (справа)

Для первой точки с координатами 55,71 с.ш. и 37,41 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 1,5 м/с до 3,6 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,7 м/с. Максимальная ошибка составила -1,2 м/с (эксперимент 2) и -0,9 м/с (эксперимент 1). При параметризации экспериментом 4 и 6 ошибка была максимально-положительной (0,6 м/с и 0,9 м/с). В оставшиеся случаях ошибка была равна 0,1 м/с или -0,1 м/с.

Для второй точки с координатами 58,55 с.ш. и 34,28 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 1,5 м/с до 1,9 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,3 м/с. Для данной точки все параметризации занижали прогнозируемую скорость ветра. Минимальная ошибка была спрогнозирована экспериментами 1 и 2, где ошибка составила -0,7 м/с. В остальных случаях ошибка составила -0,5 м/с и -0,4 м/с.

Для третьей точки с координатами 54,76 с.ш. и 37,44 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,2 м/с до 4,3 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,4 м/с. Для данной точки все параметризации завышали прогнозируемую скорость. Максимальная ошибка составила 1,9 м/с (эксперимент 6) и 1,7 м/с (эксперимент 2). Ошибка в 1,4 м/с была в экспериментах 3, 5 и 9. В остальных случаях она равняется от 0,8 м/с до 0,9 м/с.

Для четвертой точки с координатами 56,17 с.ш. и 34,81 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,3 м/с до 3,5 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,5 м/с. Все параметризации завышали прогнозируемую скорость, кроме эксперимента 2, где ошибка была -0,2 м/с. Максимальная ошибка 1 м/с (эксперимент 8). В остальных случаях ошибка составила от 0,3 м/с до 0,7 м/с.

Для пятой точки с координатами 56,33 с.ш. и 39,03 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,5 м/с до 4,5 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 1,9 м/с. Все параметризации завышали прогнозируемую скорость ветра. При параметризации экспериментом 1 была минимальная ошибка -0,6 м/с, а у эксперимента 4 была максимальная ошибка 2,6 м/с. В оставшиеся случаях ошибка варьируется от 1,1 до 1,6 м/с.

Для шестой точки с координатами 55,90 с.ш. и 38,36 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,2 м/с до 3,3 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,4 м/с. Все параметризации завышали прогнозируемое значение скорости, но лишь в эксперименте 6 занизило его. Ошибка составила -0,2 м/с. Максимальная ошибка составила 0,9 м/с (эксперимент 9). В остальных случаях она варьируется от 0,3 до 0,6 м/с.

Для седьмой точки с координатами 57,14 с.ш. и 36,77 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,9 м/с до 6,1 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 3,0 м/с. Все параметризации спрогнозировали значение, которые соответствовали фактическому значению или были меньше всего 0,1 м/с. Эксперименты 7 и 6 имеют наибольшие ошибки -0,7 м/с и 3,1 м/с.

Для восьмой точки с координатами 56,55 с.ш. и 39,71 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,0 м/с до 4,2 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 1,9 м/с. Все параметризации завышали прогностическое значение скорости ветра. Максимальная ошибка составила 2,3 м/с (эксперимент 8), а минимальная 1,2 м/с (эксперимент 7) и 1,3 м/с (эксперимент 1). В остальных случаях ошибка варьируется от 1,5 до 1,9 м/с.

Для девятой точки с координатами 57,98 с.ш. и 38,17 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,1 м/с до 5,7 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,9 м/с. Все параметризации завышали прогнозируемую скорость ветра, а в эксперименте имеет максимальную ошибку 2,8 м/с. Минимальная ошибка составила 0,1 м/с (эксперимент 7). В остальных случаях ошибка достигает 0,7 м/с.

Для десятой точки с координатами 57,83 с.ш. и 35,74 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,2 м/с до 2,7 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,4 м/с. Все параметризации равнялись фактическому значению скорости ветра (эксперименты 2, 8 и 9) или имели близкие значения с максимальной ошибкой 0,3 м/с. В экспериментах 1 и 7 наблюдалась отрицательная ошибка. Она составила -0,2 и -0,1 м/с.

Для одиннадцатой точки с координатами 57,89 с.ш. и 39,19 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,2 м/с до 3,3 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,9 м/с. Все параметризации имеют примерно одинаковую ошибку. Она составила 0,3 м/с. Эксперимент 6 имеет отрицательную ошибку -0,6 м/с.

Для двенадцатой точки с координатами 54,90 с.ш. и 38,90 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,6 м/с до 7,1 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 3,0 м/с. Все параметризации завышают прогнозируемую скорость ветра. Средняя ошибка составила 0,7 м/с, но у экспериментов 2, 5 и 7 она равняется, соответственно, 1,6, 4,1 и 2,0 м/с.

Для тринадцатой точки с координатами 53,74 с.ш. и 35,14 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 3,3 м/с до 3,8 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,0 м/с. Все параметризации примерно одинаково завышают прогнозируемую скорость ветра, но эксперимент 7 имеет самую наименьшую ошибку 1,4 м/с, а эксперименты 4 и 6 прогнозируют с самой большой ошибкой 1,8 м/с.

Для четырнадцатой точки с координатами 53,80 с.ш. и 34,78 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 2,8 м/с до 3,2 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,1 м/с. Все параметризации примерно одинаково завышают прогнозируемую скорость ветра, но эксперимент 1 имеет минимальную ошибку 0,7 м/с.

Для пятнадцатой точки с координатами 55,18 с.ш. и 36,95 в.д. прогнозируемая скорость ветра варьируется от 1,9 м/с до 3,4 м/с. Фактическое значение скорости ветра было 2,2 м/с. Большинство параметризации имеют небольшую ошибку прогнозируемой скорости по модулю. Она составила 0,3 м/с. Эксперименты 2, 7 и 9 имеют отрицательную ошибку (максимум составляет -0,8 м/с). Эксперимент 1 обладает самой большой положительной ошибкой. Она составила 1,2 м/с.

Для всей области прогноз оказался успешным, так как разница между прогнозируемым и фактическим значениями скорости ветра не превышало больше 2 м/с.

3.4.2 Направление ветра

Направление ветра было рассчитано также, как для обычной сеткой по формулам (3.1), (3.2) и (3.3). Анализ по направлению сделать сложно. Во-первых, для расчета направление ветра были использованы данные, которые получили во время параметризаций. Во-вторых, в половине случаях выдавал неверное направление ветра (ошибка достигала больше 90 градусов).

3.4.3 Температура на 2-ух метрах

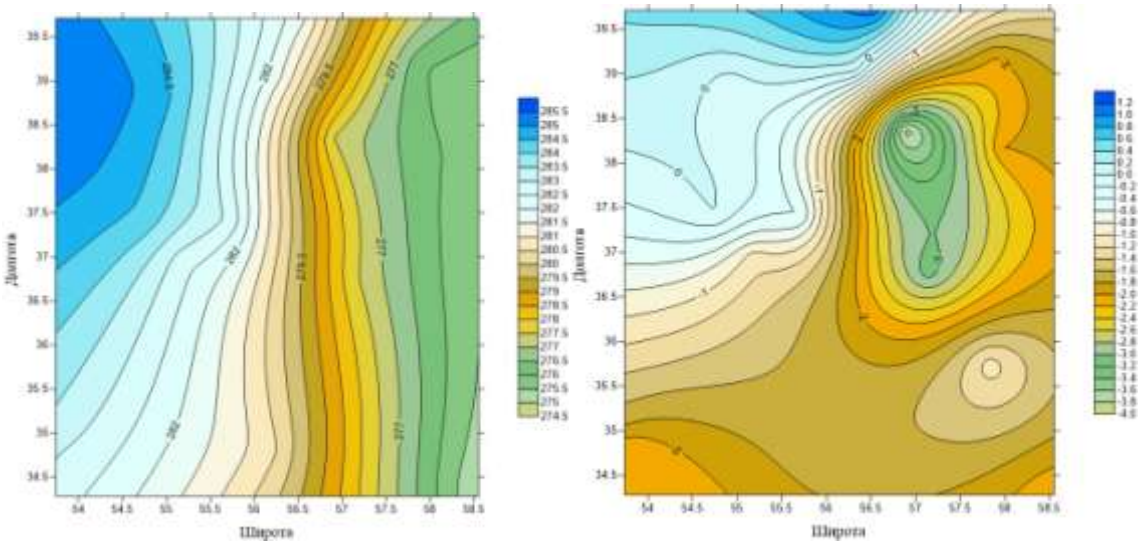

Рисунок 3.9 – Поле температуры воздуха на 2-ух метрах на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем температуры воздуха на 2-ух метрах с прогнозируемым значением (справа)

Для первой точки с координатами 55,71 с.ш. и 37,41 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 282,9 до 284,0 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах 283,3 К. В экспериментах 1 и 2 прогностическое значение было занижено на -0,2 К и -0,4 К. В остальных случаях средняя ошибка составила 0,3 К. В эксперименте 7 она была максимальной 0,7 К. В эксперименте 8 ошибка была 0,1 К.

Для второй точки с координатами 58,55 с.ш. и 34,28 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 275,0 до 278,7 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах 277,2 К. Все параметризации занижали прогнозируемую температуру на 2-ух метрах, кроме эксперимента 6. Ошибка составила 1,6 К. В остальных схемах она была в среднем -0,7 К, кроме эксперимента 2. Ошибка составила -2,2 К.

Для третьей точки с координатами 54,76 с.ш. и 37,44 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 283,3 до 286,0 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах 284,2 К. Все

параметризации практически завышали прогностическое значение. Максимальная ошибка составила 1,8 К и -0,9 К, когда использовали эксперименты 6 и 7. При прогнозировании экспериментом 2 прогностическая температура воздуха на 2-ух метрах равняется фактическому значению. В остальных случаях средняя ошибка от 0,3 до 0,4 К, кроме эксперимента 9, где она равняется 0,7 К.

Для четвертой точки с координатами 56,17 с.ш. и 34,81 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 280,7 до 282,6 К. Фактическое значение температура воздуха на 2-ух метрах 282,3 К. Все параметризации занижали прогностическую величину, кроме экспериментов 6 и 7, где ошибка была 0,2 К и 0 К. Максимальная ошибка -1,6 К и -0,7 К, когда использовали эксперименты 2 и 9. В остальных случаях ошибка составила от -0,2 К.

Для пятой точки с координатами 56,33 с.ш. и 39,03 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 281,4 до 282,3 К. Фактическое значение температура воздуха на 2-ух метрах было 281,4 К. Все параметризации завышали прогностическое значение. При прогнозировании экспериментами 2 и 6 была минимальная ошибка 0,0 К (они были равны), а у экспериментов 7 и 8 были максимальные ошибки 0,9 и 0,7 К. В оставшиеся случаях ошибка варьируется от 0,2 К.

Для шестой точки с координатами 55,90 с.ш. и 38,36 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 277,5 до 280,4 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 281,5 К. Все параметризации занижали прогностическое значение. Максимальная ошибка составила -3,9 К (эксперимент 2), а в остальных случаях она варьируется от -1,1 до -1,9 К.

Для седьмой точки с координатами 57,14 с.ш. и 36,77 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 277,6 до 280,0 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 280,8 К. Все

параметризации занижали прогностическое значение. Максимальная ошибка составила -3,1 К (эксперимент 2). Минимальная ошибка составила -0,8 К (эксперимент 6). В остальных случаях ошибка от -1,6 до -2,0 К.

Для восьмой точки с координатами 56,55 с.ш. и 39,71 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 280,2 до 281,6 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 280,4 К. Все параметризации завышали прогностическое значение, кроме эксперимента 6. Максимальная ошибка составила 1,1 К (эксперимента 2), а минимальная -0,1 К (эксперименты 1, 3, 5). В остальных случаях ошибка варьируется от 0,4 до 0,8 К.

Для девятой точки с координатами 57,98 с.ш. и 38,17 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 276,2 до 277,9 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 278,3 К. Все параметризации занижали прогнозируемую температуру воздуха на 2-ух метрах. Эксперименты 1 и 6 имеют минимальные ошибки -0,4 К и -0,5 К. Остальные эксперименты имеют ошибку -1,5 К, а эксперимент 2 спрогнозировал значение с максимальной ошибкой -2,0 К.

Для десятой точки с координатами 57,83 с.ш. и 35,74 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 276,6 до 278,2 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 277,6 К. Максимальная ошибка составила -1,1 К (эксперимент 2), а минимальная ошибка была -0,1 К (эксперимент 1). В экспериментах 6 и 8 прогностическое значение было завышенным. Ошибка составила 0,6 и 0,4 К. В оставшихся экспериментах прогностическое значение было заниженным. Средняя ошибка составила -0,5 К.

Для одиннадцатой точки с координатами 57,89 с.ш. и 39,19 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 276,1 до 278,5 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 278,1 К. Большинство экспериментов имеют ошибку -1,0 К. Самую большую ошибку

спрогнозировал эксперимент 2 (ошибка -2,0 К), в отличие от экспериментов 1 и 6 (ошибка -0,4 и 0,4 К).

Для двенадцатой точки с координатами 54,90 с.ш. и 38,90 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 283,9 до 286,4 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 285,0 К. Все эксперименты занижали прогнозируемое значение, лишь только в двух случаях ошибка была положительной. Это эксперимент 6 (ошибка 0,0 К) и эксперимент 5 (ошибка 1,4 К).

Для тринадцатой точки с координатами 53,74 с.ш. и 35,14 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 283,4 до 285,0 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 285,1 К. Все прогностические значения были меньше истинного значения. Максимальная ошибка была -1,7 К (эксперимент 2), а минимальная -0,1 К (эксперимент 6). В остальных случаях ошибка варьируется от -0,7 до -0,2 К.

Для четырнадцатой точки с координатами 53,80 с.ш. и 34,78 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 283,0 до 285,3 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 285,2 К. Все прогностические значения занижали полученный результат, кроме эксперимента 6 (ошибка 0,1 К). Во всех остальных случаях ошибка была от -1,5 до -1,1 К, кроме первого эксперимента (ошибка -0,7 К) и второго эксперимента (ошибка -2,2 К).

Для пятнадцатой точки с координатами 55,18 с.ш. и 36,95 в.д. прогнозируемая температура воздуха на 2-ух метрах варьируется от 281,7 до 285,2 К. Фактическое значение температуры воздуха на 2-ух метрах было 283,8 К. В экспериментах 6 и 9 ошибка была положительной, соответственно 1,4 и 1,1 К. В остальных случаях прогностические значения занижали полученный результат. Ошибка варьировалась от -0,4 до -0,1 К. В эксперименте 2 (ошибка -1,1 К) и эксперименте 7 (ошибка -2,1 К).

3.4.4 Потенциальная температура

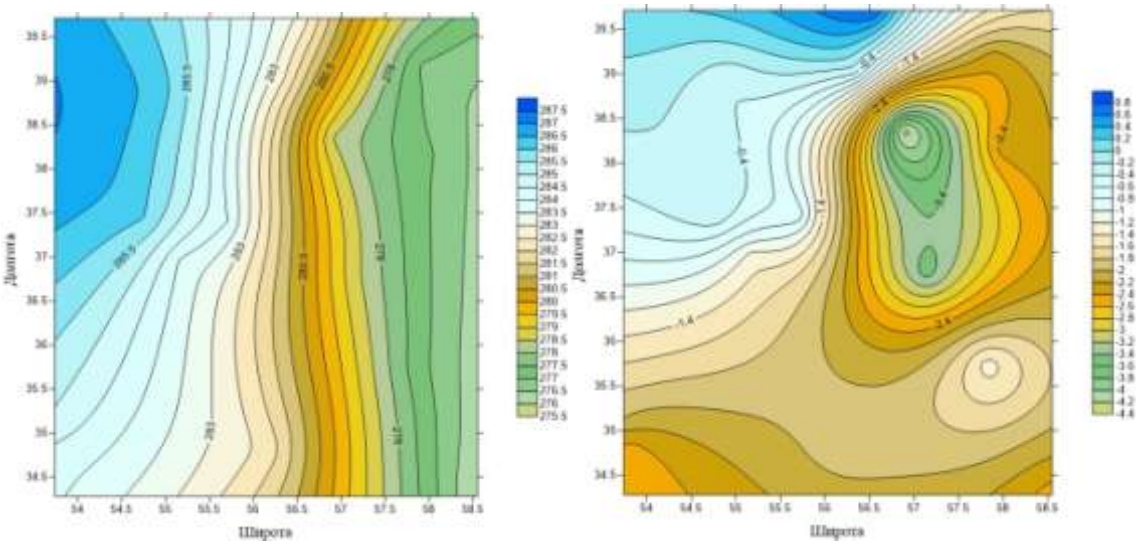

Рисунок 3.10 – Поле потенциальной температуры на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем потенциальной температуры с прогнозируемым значением (справа)

Для первой точки с координатами 55,71 с.ш. и 37,41 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 284,0 до 285,2 К. Фактическое значение потенциальной температуры 284,8 К. В экспериментах 1, 2 и 8 прогностическое значение было занижено на -0,5 К , -0,7 К и -0,2 К. В эксперименте 7 составила 0,4 К. В остальных случаях прогностический результат равняется фактическому значение или больше его всего на 0,1 К (эксперимент 3, 5, 9).

Для второй точки с координатами 58,55 с.ш. и 34,28 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 276,0 до 279,7 К. Фактическое значение потенциальной температуры 278,4 К. Все параметризации занижали прогнозируемую температуру на 2-ух метрах, кроме эксперимента 6. Ошибка составила 1,3 К. В остальных экспериментах она была в среднем -1,2 К, кроме эксперименте 2. Ошибка составила -2,5 К.

Для третьей точки с координатами 54,76 с.ш. и 37,44 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 285,0 до 287,7 К. Фактическое

значение потенциальной температуры 286,2 К. Все параметризации практически завышали прогностическое значение, кроме экспериментов 2 и 7. Ошибка составила -0,2 и -1,2 К. Максимальная ошибка составила 1,5 К, когда прогнозировали с помощью эксперимента 6. В эксперименте 8 ошибка составила 0,0 К. В остальных случаях средняя ошибка составила 0,2 К.

Для четвертой точки с координатами 56,17 с.ш. и 34,81 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 282,3 до 284,5 К. Фактическое значение потенциальная температура 284,2 К. Все параметризации занижали прогностическую величину, кроме эксперименте 6 и 9, где ошибка была 0,0 и 0,2 К. Максимальная ошибка -0,6 К и -1,9 К, когда прогнозировали с помощью экспериментов 1 и 2. В остальных случаях средняя ошибка составила -0,4 К.

Для пятой точки с координатами 56,33 с.ш. и 39,03 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 282,5 до 283,5 К. Фактическое значение потенциальная температура было 282,9 К. Эксперименты 1, 2, 3, 4 и 5 занижали прогностическое значение. Ошибка варьировалась от -0,1 до -0,4 К. В оставшиеся случаях ошибка варьировалась от 0,3 до 0,6 К.

Для шестой точки с координатами 56,90 с.ш. и 38,36 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 278,5 до 281,3 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 282,7 К. Все параметризации занижали прогностическое значение. Максимальная ошибка -4,3 К составила при использовании эксперименте 2, а в остальных случаях она варьируется от -1,4 до -2,3 К.

Для седьмой точки с координатами 57,14 с.ш. и 36,77 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 278,7 до 281,0 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 280,8 К. Все параметризации занижали прогностическое значение. Максимальная ошибка -3,5 К составила при использовании эксперименте 2. Минимальная ошибка -1,1 К составила при использовании эксперименте 6. В остальных случаях ошибка от -1,9 до -2,3 К.

Для восьмой точки с координатами 56,55 с.ш. и 39,71 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 281,4 до 282,8 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 281,9 К. Все параметризации занижали прогностическое значение, кроме четырех случаев случая, когда прогнозировали с помощью экспериментов 1, 3, 5 и 6 (ошибки -0,2, -0,2, -0,2 и -0,5 К). Максимальная ошибка составила 0,8 К (эксперимент 2), а минимальная 0,0 К (эксперимент 6). В остальных случаях ошибка варьируется от 0,4 до 0,5 К.

Для девятой точки с координатами 57,98 с.ш. и 38,17 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 277,1 до 278,7 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 279,4 К. Все параметризации занижали потенциальную температуру. Эксперименты 1 и 6 имеют минимальные ошибки -0,7 К и -0,6 К. Остальные эксперименты имеют ошибку от -1,8 до -1,9 К, а эксперимент 2 спрогнозировал значение с максимальной ошибкой -2,3 К.

Для десятой точки с координатами 57,83 с.ш. и 35,74 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 277,3 до 279,0 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 278,6 К. Максимальная ошибка составила -1,3 К (эксперимент 2). В экспериментах 6 и 8 прогностическое значение было завышенным. Ошибка составила 0,3 и 0,1 К. В оставшихся экспериментах прогностическое значение было заниженным. Средняя ошибка составила -0,6 К.

Для одиннадцатой точки с координатами 57,89 с.ш. и 39,19 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 277,0 до 279,5 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 279,3 К. Большинство экспериментов имеют ошибку -1,4 К. Самую большую ошибку спрогнозировал эксперимент 2 (ошибка -2,3 К), в отличие от экспериментов 1 и 6 (ошибка -0,4 и 0,1 К).

Для двенадцатой точки с координатами 54,90 с.ш. и 38,90 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 285,4 до 287,9 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 286,7 К. Все эксперименты занижали прогнозируемое значение, лишь в одном случае ошибка была положительной. Это эксперимент 6 (ошибка 1,2 К). В эксперименте 7 (ошибка -1,4 К), а в оставшиеся случаях ошибка варьируется от -0,4 до -0,6 К.

Для тринадцатой точки с координатами 53,74 с.ш. и 35,14 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 284,9 до 286,5 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 286,9 К. Все прогностические значения были меньше истинного значения. Максимальная ошибка была -2,0 К (эксперимент 2), а минимальная -0,4 К (эксперимент 6). В остальных случаях ошибка варьируется от -0,4 до -1,0 К.

Для четырнадцатой точки с координатами 53,80 с.ш. и 34,78 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 284,3 до 286,7 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 286,8 К. Все прогностические значения занижали полученный результат. Минимальная ошибка составила -0,1 К (эксперимент 6). Во всех остальных случаях ошибка была от -1,4 до -1,8 К, кроме первого эксперимента (ошибка -1,0 К) и второго эксперимента (ошибка -2,5 К).

Для пятнадцатой точки с координатами 55,18 с.ш. и 36,95 в.д. прогнозируемая потенциальная температура варьируется от 282,8 до 286,4 К. Фактическое значение потенциальной температуры было 285,3 К. В экспериментах 6 и 9 ошибка была положительной, соответственно 1,1 и 0,9 К. В остальных случаях прогностические значения занижали полученный результат. Ошибка варьировалась от -0,4 до -0,7 К. В эксперименте 2 (ошибка -1,3 К) и эксперименте 7 (ошибка -2,5 К).

3.4.5 Давление на уровне моря

Давление на уровне было спрогнозировано немного хуже, чем на обычной сетке. Так как в нескольких случаях его значение было заниженным, и ошибка составила -0,3 гПа (максимальная ошибка среди отрицательных). В некоторых случаях прогностический результат равняется фактическому значению. Ошибка варьируется от 0,1 до 0,9 гПа.

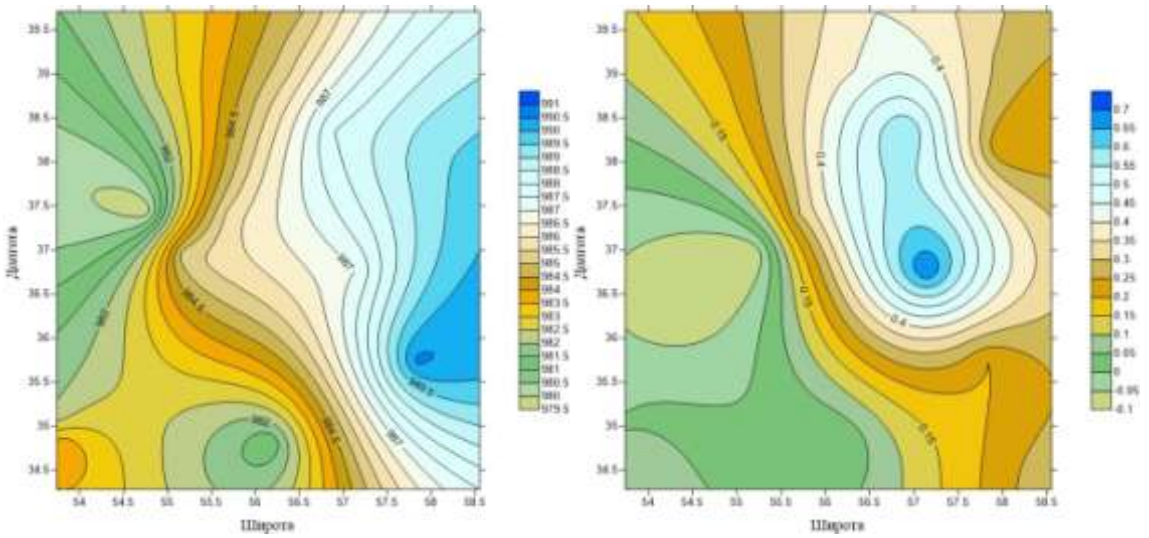

Рисунок 3.11 – Поле давления над уровнем моря на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем давления над уровнем моря с прогнозируемым значением (справа)

3.4.6 Геопотенциальная высота

Геопотенциальная высота была спрогнозирована немного хуже, чем на обычной сетке (см. рисунок 3.12). В нескольких случаях его значение было заниженным, и ошибка составила -30,4 гПа (максимальная ошибка среди отрицательных значений). В одном случае прогностический результат практически равняется фактическому значению (ошибка 0,3). В остальных случаях ошибки варьируются в диапазоне 15 метрах, но было и даже больше. Максимальная ошибка 53,3 метра.

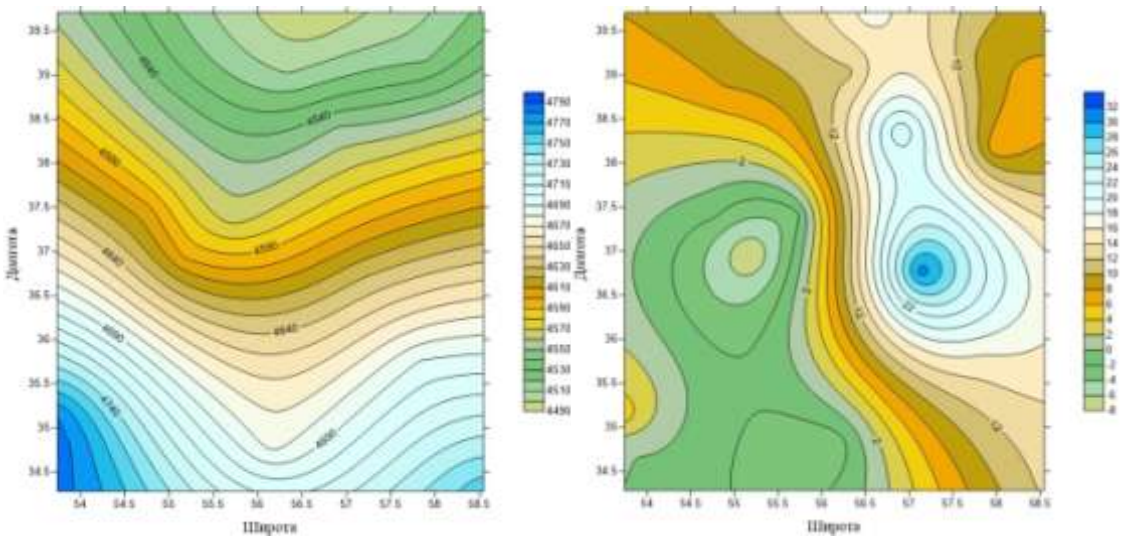

Рисунок 3.12 – Поле геопотенциальной высоты на 30 мая 2017 года (слева) и разница между фактическим значением полем геопотенциальной высоты с прогнозируемым значением (справа)

3.5 Общий анализ

Анализ на сутки (с 29 мая 00.00 на 30 мая 00.00) из глав 3.3 и 3.4 помог определить, какие эксперименты лучше подходят для нашего прогноза на данной территории. Были выбраны по три лучших эксперимента на каждом типе сеток, так как в ходе экспериментов изменялись характеристики в пограничном слое атмосферы (эксперименты с 1 по 3), конвекции (эксперименты с 4 по 6) и турбулентности (эксперименты 7 по 9). Эксперименты 3, 6 и 9 были лучшими на обычной сетке. Они имели приближенные результаты к фактическому значению. Эксперименты 3, 6 и с 7 по 9 были лучшими на вложенной сетке. Когда изменяли характеристики в турбулентности для вложенной сетки, было выбрано сразу три эксперимента потому, что невозможно выделить какой эксперимент лучше подходит для данной территории.

Эксперимент 3 стал самым лучшим на обычной сетке. Эксперимент 6 стал лучшим на вложенной сетке. Смоделированные результаты на обычной

сетке оказались точнее, чем результаты на вложенной сетке. На рисунке 3.13 представлена лучшая параметризация для прогноза мезомасштабных вихрей на данной территории.

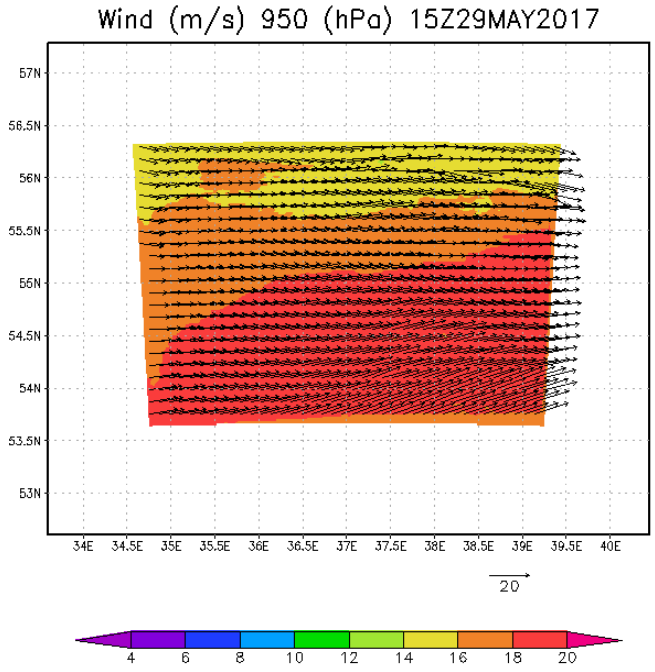

Рисунок 3.13 – Прогноз скорости ветра на 18:00 по территории Москвы и Московской области

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были изучены современные методы прогнозирования мезомасштабных явлений погоды. С помощью их была проведена работа с моделью WRF. Она подразделяются на WRF-ARW и WRF-NMM. Для нашей области лучше подходила модель WRF-ARW. Для прогнозирования мезомасштабных явлений погоды использовалась не только обычная сетка, а еще и вложенная сетка. Всего было проведено восемнадцать численных экспериментов (девять экспериментов на обычной сетке и девять экспериментов на вложенной сетке). В этих экспериментах меняли характеристики модели, которые отвечали за пограничный слой атмосферы, конвекцию и турбулентность. Анализ полученных результатов получился хороший, так как прогностические значения были в пределах, которые на самом деле наблюдались. Поэтому для улучшения качества прогноза нужно лучше проводить ассимиляцию данных, а точнее подготовлять начальные условия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Clifford Department of Atmospheric Sciences University of Washington [текст] / M.Clifford // Bulletin of the American Meteorological Society. –2011. – С.1 – 23.

2. Шихов Изучение двух случаев сильных смерчей в Предуралье [текст] / А.Н. Шихов, А.В.Быков // Пермский Государственный национальный исследовательский университет. – 2015. – С.124 – 133.

3. Шихов оценка качества прогноза мезомасштабных конвективных систем на Западном Урале с помощью модели WRF и спутниковых данных MODIS [текст] / А.Н.Шихов, А.В.Быков // Пермский Государственный национальный исследовательский университет. – 2016. – С.137 – 148.

4. The 2008 CoSPA forecast demonstration [текст] / Dupree [и др] // ARAM Special Symposium on Weather - Air Traffic Phoenix – 2009. – С.1 – 19.

5. Browning Local weather forecasting [текст] / K.A.Browning // Proc. Roy. Soc. London. – 1980. – С.179 – 211.

6.Nowcasting thunderstorms [текст] / J.W.Wilson [и др.] // Bull. Amer. Meteor. Soc. 79. – 1998. – С. – 2079 – 2099

7. Wilson Very short period (0-6) forecasts of thunderstorms [текст] / James Wilson // National Center for Atmospheric Research. – 2004. – С.1 – 6.

8. Evan Ruzanski The CASA nowcasting system [текст] / Evan Ruzanski, V.Chandrasekar, Yanting Wang // Journal of atmospheric and oceanic technology. – 2010. – С.640 – 655.

9. Germann Scale dependence of the predictability of precipitation from continental radar images. Part II: Probability forecasts [текст] / U.Germann, I. Zawadzki // J. Appl. Meteor., 43. – 2004. – С.74 – 89.

10. Lim Evaluation of network-based attenuation correction in the CASA IP-1 testbed [текст] / S.Lim, V. Chandrasekar // Amer. Meteor. Soc., P2.26. – 2009. С,

2009:. Preprints, 34th Conf. on Radar Meteor., Williamsburg, VA, Amer. Meteor. Soc., P2.26.

11. Chandrasekar Retrieval of reflectivity in a networked radar environment [текст] / V.Chandrasekar, S. Lim // J. Atmos. Oceanic Technol., 25. – 2008. – С.1755 – 1766.

12. Xu Radar storm motion estimation and beyond: A spectral algorithm and radar observation based dynamic model [текст] / G.Xu, V.Chandrasekar // Proc. WMO Symp. on Nowcasting, Toulouse, France,WMO. – 2005.

13. Ligda The horizontal motion of small precipitation areas as observed by radar [текст] / M.G.Ligda // Technical Report 21, Department of Meteorology, M.I.T., Cambridge Massachusetts. – 1953. – С.1 – 60.

14. Browning Nowcasting of precipitation systems [текст] / K.A. Browning, C.G. Collier // Reviews of Geophysics, 27. – 1989. – С.345 – 370

15. Golding Nimrod: A system for generating automated very short range forecasts [текст] / B.W.Golding // *Meterorol. Appl.*, 5. – 1998. – С.1 – 16.

16. Golding Quantitative precipitation forecasting in the UK [текст] / B.W.Golding // J. Hyd., 239. – 2000. – С.286 – 305.

17. The Sydney 2000 world weather research program forecast demonstration project [текст] / T.Keenan [и др] // Bull Amer. Meteor. Soc., 84. – 2003. – С.1041 – 1054.

18. NCAR Auto-nowcast system [текст] / C.Mueller [и др] // Wea Forecasting,18. – 2003. – С.545 – 561.

19. Tactical 0-2 hour convective weather forecasts for FAA [текст] / M.M.Wolfson [и др.] // Proceedings of the 11th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, Hyannis, MA. – 2004. – С.1 – 35.

20. Benjamin An hourly assimilation–forecast cycle [текст] / S.G.Benjamin and Coauthors // The RUC Mon.Wea.Rev.132. – 2004. – С.495 – 518.

21. Васильев А.А. Смерчи, шквалы и град 8–9 июня 1984 г [текст] / Васильев А.А., Песков Б.Е., Снитковский А.И. // Метеорология и гидрология №8. – 1985. – С.5 – 15.

22 Mesoscale Numerical Weather Prediction with the WRF Model [текст] / Kuo Ying-Hwa [и др.] // National Center for Atmospheric Research Preprint, Symposium on the 50th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction. – 2004. – С.1 – 5.

23. The weather research and forecasting model [текст] / G.Jordan [и др.], // American Meteorological Society. – 2017. – С.1717 – 1737.

24. User’s Guide for Advanced Research WRF (ARW) Modeling System Version 2.2: учебник / Jimy Dudhia [и др.]. – 2007. – 192 с.

25. User's Guide for the NMM Core of the Weather Research and Forecast (WRF) Modeling System Version 3: учебник / Jimy Dudhia [и др.]. – 2014. – 213 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Примеры полученных результатов с помощью модели WRF на обычной сетке

Таблица А.1 – Скорость ветра

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.25	37.27	2.6	2.4	0.3
55.25	37.27	3	2.4	0.7
55.25	37.27	3.4	2.4	1
55.25	37.27	3.7	2.4	1.3
55.25	37.27	3.6	2.4	1.2
55.25	37.27	3.3	2.4	0.9
55.25	37.27	3.2	2.4	0.9
55.25	37.27	4	2.4	1.7
55.25	37.27	3	2.4	0.7
56.18	36.24	1.9	2.6	-0.7
56.18	36.24	1.4	2.6	-1.2
56.18	36.24	2.2	2.6	-0.4
56.18	36.24	2.3	2.6	-0.3
56.18	36.24	2.2	2.6	-0.3
56.18	36.24	2.3	2.6	-0.3
56.18	36.24	2.2	2.6	-0.4
56.18	36.24	2.2	2.6	-0.4
56.18	36.24	2.3	2.6	-0.3
54.94	37.3	2.5	2.3	0.2
54.94	37.3	2.3	2.3	0
54.94	37.3	3	2.3	0.7
54.94	37.3	3.2	2.3	0.9
54.94	37.3	3.1	2.3	0.8
54.94	37.3	2.1	2.3	-0.2
54.94	37.3	3.5	2.3	1.2
54.94	37.3	2.4	2.3	0.1
54.94	37.3	3.1	2.3	0.8
55.39	36.41	3.2	2.2	0.9
55.39	36.41	3.1	2.2	0.9

Продолжение таблицы А.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.39	36.41	3.4	2.2	1.2
55.39	36.41	3.5	2.2	1.2
55.39	36.41	3.5	2.2	1.2
55.39	36.41	3.2	2.2	1
55.39	36.41	3.2	2.2	1
55.39	36.41	3.2	2.2	1
55.39	36.41	3.5	2.2	1.3
55.47	37.78	2.5	2.6	0
55.47	37.78	2.3	2.6	-0.3
55.47	37.78	2.8	2.6	0.2
55.47	37.78	2.8	2.6	0.2
55.47	37.78	2.8	2.6	0.2
55.47	37.78	2.5	2.6	-0.1
55.47	37.78	2.3	2.6	-0.3
55.47	37.78	2.3	2.6	-0.3
55.47	37.78	2.2	2.6	-0.3
55.66	37.54	3	2.6	0.3
55.66	37.54	3.1	2.6	0.5
55.66	37.54	4	2.6	1.3
55.66	37.54	3.9	2.6	1.3
55.66	37.54	3.9	2.6	1.2
55.66	37.54	4.3	2.6	1.6
55.66	37.54	4.4	2.6	1.7
55.66	37.54	4.4	2.6	1.8
55.66	37.54	4.2	2.6	1.6
55.72	37.03	3.2	2.7	0.6
55.72	37.03	2	2.7	-0.7
55.72	37.03	2.7	2.7	0
55.72	37.03	2.7	2.7	0
55.72	37.03	2.8	2.7	0.1
55.72	37.03	2.6	2.7	-0.1
55.72	37.03	2.9	2.7	0.2
55.72	37.03	2.6	2.7	-0.1

Продолжение таблицы А.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.72	37.03	2.6	2.7	-0.1
55.55	37.99	1.6	2.6	-1
55.55	37.99	2.5	2.6	-0.1
55.55	37.99	2.7	2.6	0.1
55.55	37.99	2.7	2.6	0.2
55.55	37.99	2.8	2.6	0.2
55.55	37.99	2.8	2.6	0.2
55.55	37.99	2.5	2.6	-0.1
55.55	37.99	2.9	2.6	0.3
55.55	37.99	2.6	2.6	0.1
56.01	37.45	1.7	2.8	-1.1
56.01	37.45	2.1	2.8	-0.7
56.01	37.45	1.9	2.8	-0.9
56.01	37.45	2.1	2.8	-0.7
56.01	37.45	2	2.8	-0.8
56.01	37.45	2	2.8	-0.8
56.01	37.45	2.2	2.8	-0.6
56.01	37.45	1.9	2.8	-0.9
56.01	37.45	2	2.8	-0.8
55.95	36.69	2.5	2.7	-0.2
55.95	36.69	3.2	2.7	0.5
55.95	36.69	3.5	2.7	0.8
55.95	36.69	3.6	2.7	0.9
55.95	36.69	3.6	2.7	0.9
55.95	36.69	3.6	2.7	0.9
55.95	36.69	3.6	2.7	0.9
55.95	36.69	3.5	2.7	0.8
55.95	36.69	3.6	2.7	0.9
55.99	37.78	2.4	2.6	-0.3
55.99	37.78	2.9	2.6	0.2
55.99	37.78	2.8	2.6	0.2
55.99	37.78	3	2.6	0.4
55.99	37.78	3	2.6	0.3

Продолжение таблицы А.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.99	37.78	2.3	2.6	-0.3
55.99	37.78	2.1	2.6	-0.6
55.99	37.78	2.2	2.6	-0.4
55.99	37.78	2.3	2.6	-0.3
55	37.78	3.4	2.6	0.8
55	37.78	3.1	2.6	0.6
55	37.78	4.2	2.6	1.6
55	37.78	4.3	2.6	1.7
55	37.78	4.2	2.6	1.6
55	37.78	3.5	2.6	0.9
55	37.78	2.8	2.6	0.2
55	37.78	3.3	2.6	0.7
55	37.78	3.4	2.6	0.8
54.59	36.54	2.5	2	0.5
54.59	36.54	3	2	1
54.59	36.54	2.9	2	0.9
54.59	36.54	2.9	2	0.8
54.59	36.54	2.9	2	0.8
54.59	36.54	2.4	2	0.4
54.59	36.54	3.1	2	1.1
54.59	36.54	2.8	2	0.8
54.59	36.54	3.7	2	1.7
54.6	36.41	2.6	2	0.6
54.6	36.41	2.2	2	0.2
54.6	36.41	3	2	1
54.6	36.41	2.9	2	0.9
54.6	36.41	3	2	1
54.6	36.41	3.1	2	1.1
54.6	36.41	2.9	2	0.9
54.6	36.41	2.8	2	0.8
54.6	36.41	3.2	2	1.2
55.07	37.13	2.4	2.2	0.1
55.07	37.13	2.3	2.2	0.1

Продолжение таблицы А.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.07	37.13	2.9	2.2	0.7
55.07	37.13	3	2.2	0.7
55.07	37.13	3	2.2	0.8
55.07	37.13	2.3	2.2	0.1
55.07	37.13	2	2.2	-0.3
55.07	37.13	2.1	2.2	-0.2
55.07	37.13	2.2	2.2	0

Таблица А.2 – Направление ветра

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.25	37.27	123.2	112	11.3
55.25	37.27	132.2	112	20.3
55.25	37.27	126.9	112	14.9
55.25	37.27	128.6	112	16.6
55.25	37.27	128.1	112	16.1
55.25	37.27	118.9	112	6.9
55.25	37.27	129.1	112	17.2
55.25	37.27	128	112	16
55.25	37.27	118.1	112	6.1
56.18	36.24	114.2	153.4	–39.2
56.18	36.24	120.8	153.4	–32.6
56.18	36.24	127.2	153.4	–26.2
56.18	36.24	128.7	153.4	–24.7
56.18	36.24	128.3	153.4	–25.1
56.18	36.24	124.2	153.4	–29.2
56.18	36.24	124.5	153.4	–28.9
56.18	36.24	123.4	153.4	–30
56.18	36.24	124.4	153.4	–29
54.94	37.3	109.1	101	8
54.94	37.3	117.1	101	16
54.94	37.3	109.7	101	8.7

Продолжение таблица А.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.94	37.3	112.6	101	11.5
54.94	37.3	111.7	101	10.7
54.94	37.3	13.4	101	–87.6
54.94	37.3	101.6	101	0.6
54.94	37.3	8.2	101	–92.8
54.94	37.3	94.5	101	–6.5
55.39	36.41	130	126.4	3.6
55.39	36.41	136.2	126.4	9.7
55.39	36.41	125.8	126.4	–0.6
55.39	36.41	126.2	126.4	–0.3
55.39	36.41	126.2	126.4	–0.2
55.39	36.41	125.8	126.4	–0.7
55.39	36.41	128.7	126.4	2.3
55.39	36.41	128.9	126.4	2.5
55.39	36.41	128.8	126.4	2.4
55.47	37.78	100.2	117.6	–17.4
55.47	37.78	114.7	117.6	–2.9
55.47	37.78	116.8	117.6	–0.8
55.47	37.78	114.1	117.6	–3.5
55.47	37.78	114.2	117.6	–3.4
55.47	37.78	97.6	117.6	–20
55.47	37.78	95.3	117.6	–22.3
55.47	37.78	4.4	117.6	–113.2
55.47	37.78	98.1	117.6	–19.5
55.66	37.54	125.4	126.1	–0.7
55.66	37.54	129.5	126.1	3.4
55.66	37.54	122.7	126.1	–3.4
55.66	37.54	122.1	126.1	–4
55.66	37.54	122.3	126.1	–3.8
55.66	37.54	123.1	126.1	–3
55.66	37.54	123.3	126.1	–2.8
55.66	37.54	123.8	126.1	–2.3
55.66	37.54	120.2	126.1	–5.9

Продолжение таблица А.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.72	37.03	99.3	131.4	–32.1
55.72	37.03	109.4	131.4	–22
55.72	37.03	123.8	131.4	–7.6
55.72	37.03	121	131.4	–10.3
55.72	37.03	122	131.4	–9.4
55.72	37.03	131.2	131.4	–0.2
55.72	37.03	131.1	131.4	–0.3
55.72	37.03	131.7	131.4	0.4
55.72	37.03	131.3	131.4	–0.1
55.55	37.99	142.2	120.2	21.9
55.55	37.99	125.7	120.2	5.4
55.55	37.99	122.8	120.2	2.5
55.55	37.99	124.1	120.2	3.9
55.55	37.99	123.4	120.2	3.2
55.55	37.99	111	120.2	–9.3
55.55	37.99	103.4	120.2	–16.8
55.55	37.99	109	120.2	–11.2
55.55	37.99	108.3	120.2	–11.9
56.01	37.45	126.9	138.8	–11.9
56.01	37.45	138	138.8	–0.8
56.01	37.45	121.6	138.8	–17.2
56.01	37.45	123.8	138.8	–15
56.01	37.45	123.4	138.8	–15.4
56.01	37.45	123.3	138.8	–15.5
56.01	37.45	123.2	138.8	–15.6
56.01	37.45	124.3	138.8	–14.5
56.01	37.45	124.3	138.8	–14.5
55.95	36.69	135.6	140.8	–5.2
55.95	36.69	139.8	140.8	–1.1
55.95	36.69	135.1	140.8	–5.7
55.95	36.69	132.6	140.8	–8.2
55.95	36.69	133.1	140.8	–7.7
55.95	36.69	137.2	140.8	–3.7

Продолжение таблица А.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.95	36.69	138.4	140.8	–2.5
55.95	36.69	135.8	140.8	–5
55.95	36.69	137.3	140.8	–3.5
55.99	37.78	126.8	138.5	–11.7
55.99	37.78	140.7	138.5	2.2
55.99	37.78	130.8	138.5	–7.7
55.99	37.78	133	138.5	–5.5
55.99	37.78	132.7	138.5	–5.8
55.99	37.78	122.6	138.5	–16
55.99	37.78	129.5	138.5	–9
55.99	37.78	121.6	138.5	–16.9
55.99	37.78	124.1	138.5	–14.5
55	37.78	111.5	100.2	11.3
55	37.78	113	100.2	12.8
55	37.78	104.6	100.2	4.4
55	37.78	106.1	100.2	5.9
55	37.78	105.8	100.2	5.6
55	37.78	107.5	100.2	7.3
55	37.78	101.9	100.2	1.7
55	37.78	107.5	100.2	7.3
55	37.78	101.6	100.2	1.4
54.59	36.54	4.6	99.6	–95.1
54.59	36.54	113.4	99.6	13.8
54.59	36.54	0.1	99.6	–99.6
54.59	36.54	90.5	99.6	–9.1
54.59	36.54	0.7	99.6	–98.9
54.59	36.54	99.8	99.6	0.1
54.59	36.54	102	99.6	2.4
54.59	36.54	94.2	99.6	–5.4
54.59	36.54	93.1	99.6	–6.6
54.6	36.41	111.4	101.6	9.8
54.6	36.41	125.8	101.6	24.2
54.6	36.41	111.9	101.6	10.3

Продолжение таблица А.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.6	36.41	111.5	101.6	9.9
54.6	36.41	112.6	101.6	11
54.6	36.41	115.5	101.6	13.9
54.6	36.41	110.1	101.6	8.5
54.6	36.41	103.4	101.6	1.8
54.6	36.41	112.7	101.6	11.1
55.07	37.13	109.8	106.4	3.4
55.07	37.13	121.1	106.4	14.7
55.07	37.13	110.2	106.4	3.7
55.07	37.13	111.4	106.4	4.9
55.07	37.13	109.8	106.4	3.4
55.07	37.13	107.3	106.4	0.9
55.07	37.13	149	106.4	42.5
55.07	37.13	115.5	106.4	9.1
55.07	37.13	111.5	106.4	5.1

Таблица А.3 – Температура на 2-ух метрах

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.25	37.27	284.2	283.8	0.4
55.25	37.27	284.3	283.8	0.5
55.25	37.27	284.4	283.8	0.7
55.25	37.27	284.3	283.8	0.5
55.25	37.27	284.3	283.8	0.6
55.25	37.27	283.9	283.8	0.1
55.25	37.27	284.6	283.8	0.8
55.25	37.27	284.8	283.8	1.1
55.25	37.27	284.2	283.8	0.4
56.18	36.24	281.7	282.3	-0.6
56.18	36.24	281.3	282.3	-1
56.18	36.24	282.3	282.3	0
56.18	36.24	282.3	282.3	0

Продолжение таблицы А.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.18	36.24	282.3	282.3	0
56.18	36.24	282.3	282.3	0
56.18	36.24	282.3	282.3	0
56.18	36.24	282.3	282.3	0
56.18	36.24	282.3	282.3	0
54.94	37.3	284.4	284.1	0.3
54.94	37.3	284.4	284.1	0.4
54.94	37.3	284.4	284.1	0.3
54.94	37.3	284.4	284.1	0.3
54.94	37.3	284.3	284.1	0.3
54.94	37.3	286.1	284.1	2
54.94	37.3	285.9	284.1	1.8
54.94	37.3	286.1	284.1	2
54.94	37.3	286.2	284.1	2.1
55.39	36.41	283.8	283.6	0.2
55.39	36.41	283.8	283.6	0.2
55.39	36.41	284	283.6	0.4
55.39	36.41	284	283.6	0.4
55.39	36.41	284	283.6	0.4
55.39	36.41	283.4	283.6	-0.2
55.39	36.41	283.4	283.6	-0.1
55.39	36.41	283.6	283.6	0.1
55.39	36.41	283.7	283.6	0.1
55.47	37.78	283.5	283.7	-0.2
55.47	37.78	283.1	283.7	-0.6
55.47	37.78	283.7	283.7	0
55.47	37.78	283.6	283.7	-0.1
55.47	37.78	283.6	283.7	-0.1
55.47	37.78	283	283.7	-0.7
55.47	37.78	282.9	283.7	-0.8
55.47	37.78	283.1	283.7	-0.6
55.47	37.78	283.2	283.7	-0.5
55.66	37.54	283.2	283.4	-0.2

Продолжение таблицы А.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.66	37.54	283.6	283.4	0.1
55.66	37.54	283.5	283.4	0.1
55.66	37.54	283.5	283.4	0.1
55.66	37.54	283.5	283.4	0
55.66	37.54	283.7	283.4	0.3
55.66	37.54	283.7	283.4	0.3
55.66	37.54	283.7	283.4	0.3
55.66	37.54	283.6	283.4	0.2
55.72	37.03	282.9	283.2	-0.2
55.72	37.03	282.4	283.2	-0.7
55.72	37.03	283.1	283.2	0
55.72	37.03	283.1	283.2	0
55.72	37.03	283.1	283.2	0
55.72	37.03	282.7	283.2	-0.5
55.72	37.03	282.7	283.2	-0.4
55.72	37.03	282.6	283.2	-0.6
55.72	37.03	282.5	283.2	-0.6
55.55	37.99	283.4	283.6	-0.2
55.55	37.99	282.8	283.6	-0.8
55.55	37.99	283.6	283.6	0
55.55	37.99	283.7	283.6	0
55.55	37.99	283.6	283.6	0
55.55	37.99	283.3	283.6	-0.3
55.55	37.99	282.6	283.6	-1
55.55	37.99	283	283.6	-0.6
55.55	37.99	283.2	283.6	-0.4
56.01	37.45	281.9	283	-1
56.01	37.45	281.4	283	-1.6
56.01	37.45	281.8	283	-1.2
56.01	37.45	282.1	283	-0.9
56.01	37.45	282	283	-1
56.01	37.45	281.2	283	-1.8
56.01	37.45	280.7	283	-2.3

Продолжение таблицы А.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.01	37.45	281.2	283	-1.8
56.01	37.45	281.2	283	-1.8
55.95	36.69	282.6	282.8	-0.2
55.95	36.69	282.9	282.8	0.1
55.95	36.69	282.8	282.8	0
55.95	36.69	282.9	282.8	0.1
55.95	36.69	282.9	282.8	0.1
55.95	36.69	282.9	282.8	0.1
55.95	36.69	282.8	282.8	0
55.95	36.69	282.9	282.8	0.1
55.95	36.69	282.9	282.8	0.1
55.99	37.78	282.3	283.1	-0.8
55.99	37.78	281.8	283.1	-1.4
55.99	37.78	281.9	283.1	-1.2
55.99	37.78	281.9	283.1	-1.2
55.99	37.78	282	283.1	-1.2
55.99	37.78	281.3	283.1	-1.9
55.99	37.78	281.3	283.1	-1.8
55.99	37.78	281.3	283.1	-1.8
55.99	37.78	281.4	283.1	-1.7
55	37.78	284.6	284.1	0.4
55	37.78	284.9	284.1	0.8
55	37.78	284.6	284.1	0.5
55	37.78	284.6	284.1	0.5
55	37.78	284.6	284.1	0.5
55	37.78	285.5	284.1	1.4
55	37.78	285.2	284.1	1.1
55	37.78	285.2	284.1	1.1
55	37.78	285.2	284.1	1.1
54.59	36.54	283.7	284.3	-0.6
54.59	36.54	283.9	284.3	-0.4
54.59	36.54	284	284.3	-0.3
54.59	36.54	283.9	284.3	-0.4

Продолжение таблицы А.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.59	36.54	284	284.3	-0.3
54.59	36.54	284.1	284.3	-0.2
54.59	36.54	284.2	284.3	-0.1
54.59	36.54	283.3	284.3	-1
54.59	36.54	284.8	284.3	0.4
54.6	36.41	283.8	284.3	-0.5
54.6	36.41	283.2	284.3	-1.1
54.6	36.41	284.1	284.3	-0.2
54.6	36.41	284	284.3	-0.3
54.6	36.41	284	284.3	-0.3
54.6	36.41	283.8	284.3	-0.5
54.6	36.41	284	284.3	-0.4
54.6	36.41	283.9	284.3	-0.5
54.6	36.41	283.9	284.3	-0.4
55.07	37.13	283.5	283.9	-0.5
55.07	37.13	283.3	283.9	-0.6
55.07	37.13	283.7	283.9	-0.2
55.07	37.13	283.7	283.9	-0.2
55.07	37.13	283.7	283.9	-0.2
55.07	37.13	284.7	283.9	0.8
55.07	37.13	284	283.9	0
55.07	37.13	284.4	283.9	0.5
55.25	37.27	284.2	283.8	0.4

Таблица А.4 – Потенциальная температура

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.25	37.27	285.9	285.8	0.1
55.25	37.27	286	285.8	0.3
55.25	37.27	286.2	285.8	0.4
55.25	37.27	286	285.8	0.2
55.25	37.27	286.1	285.8	0.3

Продолжение таблицы А.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.25	37.27	285.6	285.8	-0.2
55.25	37.27	286.3	285.8	0.5
55.25	37.27	286.6	285.8	0.8
55.25	37.27	286	285.8	0.2
56.18	36.24	283.1	284	-0.9
56.18	36.24	282.7	284	-1.3
56.18	36.24	283.7	284	-0.3
56.18	36.24	283.7	284	-0.3
56.18	36.24	283.7	284	-0.3
56.18	36.24	283.7	284	-0.3
56.18	36.24	283.7	284	-0.3
56.18	36.24	283.8	284	-0.3
56.18	36.24	283.7	284	-0.3
54.94	37.3	285.6	285.6	0
54.94	37.3	285.7	285.6	0.1
54.94	37.3	285.6	285.6	0
54.94	37.3	285.6	285.6	0
54.94	37.3	285.6	285.6	0
54.94	37.3	287.4	285.6	1.8
54.94	37.3	287.1	285.6	1.5
54.94	37.3	287.4	285.6	1.7
54.94	37.3	287.5	285.6	1.8
55.39	36.41	285.4	285.4	0
55.39	36.41	285.3	285.4	-0.1
55.39	36.41	285.5	285.4	0.1
55.39	36.41	285.5	285.4	0.1
55.39	36.41	285.5	285.4	0.1
55.39	36.41	284.9	285.4	-0.5
55.39	36.41	285	285.4	-0.4
55.39	36.41	285.2	285.4	-0.2
55.39	36.41	285.2	285.4	-0.2
55.47	37.78	284.5	285	-0.5
55.47	37.78	284.1	285	-0.9

Продолжение таблицы А.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.47	37.78	284.7	285	-0.3
55.47	37.78	284.6	285	-0.4
55.47	37.78	284.6	285	-0.3
55.47	37.78	284	285	-1
55.47	37.78	283.9	285	-1.1
55.47	37.78	284.1	285	-0.8
55.47	37.78	284.2	285	-0.8
55.66	37.54	284.9	285.4	-0.5
55.66	37.54	285.2	285.4	-0.1
55.66	37.54	285.2	285.4	-0.2
55.66	37.54	285.2	285.4	-0.2
55.66	37.54	285.1	285.4	-0.2
55.66	37.54	285.4	285.4	0
55.66	37.54	285.4	285.4	0
55.66	37.54	285.4	285.4	0
55.66	37.54	285.3	285.4	-0.1
55.72	37.03	283.9	284.4	-0.5
55.72	37.03	283.4	284.4	-1
55.72	37.03	284.1	284.4	-0.3
55.72	37.03	284.1	284.4	-0.3
55.72	37.03	284.1	284.4	-0.3
55.72	37.03	283.6	284.4	-0.8
55.72	37.03	283.7	284.4	-0.7
55.72	37.03	283.5	284.4	-0.9
55.72	37.03	283.5	284.4	-0.9
55.55	37.99	284.4	284.8	-0.5
55.55	37.99	283.8	284.8	-1.1
55.55	37.99	284.6	284.8	-0.3
55.55	37.99	284.6	284.8	-0.2
55.55	37.99	284.5	284.8	-0.3
55.55	37.99	284.2	284.8	-0.6
55.55	37.99	283.5	284.8	-1.3
55.55	37.99	284	284.8	-0.9

Продолжение таблицы А.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.55	37.99	284.1	284.8	-0.7
56.01	37.45	283.4	284.8	-1.3
56.01	37.45	282.9	284.8	-1.9
56.01	37.45	283.3	284.8	-1.5
56.01	37.45	283.6	284.8	-1.2
56.01	37.45	283.5	284.8	-1.3
56.01	37.45	282.7	284.8	-2.1
56.01	37.45	282.2	284.8	-2.6
56.01	37.45	282.7	284.8	-2.1
56.01	37.45	282.7	284.8	-2.1
55.95	36.69	284	284.5	-0.5
55.95	36.69	284.3	284.5	-0.2
55.95	36.69	284.3	284.5	-0.2
55.95	36.69	284.3	284.5	-0.2
55.95	36.69	284.3	284.5	-0.2
55.95	36.69	284.3	284.5	-0.2
55.95	36.69	284.2	284.5	-0.3
55.95	36.69	284.3	284.5	-0.2
55.95	36.69	284.3	284.5	-0.2
55.99	37.78	283.5	284.6	-1.1
55.99	37.78	283	284.6	-1.6
55.99	37.78	283.1	284.6	-1.5
55.99	37.78	283.1	284.6	-1.5
55.99	37.78	283.2	284.6	-1.4
55.99	37.78	282.5	284.6	-2.2
55.99	37.78	282.5	284.6	-2.1
55.99	37.78	282.5	284.6	-2.1
55.99	37.78	282.6	284.6	-2
55	37.78	286.1	285.9	0.1
55	37.78	286.4	285.9	0.5
55	37.78	286.1	285.9	0.2
55	37.78	286.2	285.9	0.2
55	37.78	286.1	285.9	0.2

Продолжение таблицы А.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55	37.78	287.1	285.9	1.1
55	37.78	286.8	285.9	0.8
55	37.78	286.8	285.9	0.8
55	37.78	286.7	285.9	0.8
54.59	36.54	285.5	286.4	-0.9
54.59	36.54	285.7	286.4	-0.7
54.59	36.54	285.8	286.4	-0.6
54.59	36.54	285.7	286.4	-0.7
54.59	36.54	285.7	286.4	-0.6
54.59	36.54	285.9	286.4	-0.5
54.59	36.54	286	286.4	-0.4
54.59	36.54	285.1	286.4	-1.3
54.59	36.54	286.5	286.4	0.2
54.6	36.41	285.5	286.4	-0.8
54.6	36.41	284.9	286.4	-1.4
54.6	36.41	285.8	286.4	-0.5
54.6	36.41	285.8	286.4	-0.6
54.6	36.41	285.8	286.4	-0.6
54.6	36.41	285.6	286.4	-0.8
54.6	36.41	285.7	286.4	-0.6
54.6	36.41	285.6	286.4	-0.8
54.6	36.41	285.7	286.4	-0.7
55.07	37.13	284.5	285.3	-0.8
55.07	37.13	284.4	285.3	-0.9
55.07	37.13	284.8	285.3	-0.5
55.07	37.13	284.8	285.3	-0.5
55.07	37.13	284.8	285.3	-0.5
55.07	37.13	285.8	285.3	0.5
55.07	37.13	285	285.3	-0.3
55.07	37.13	285.5	285.3	0.2
55.07	37.13	285.9	285.3	0.6

Таблица А.5 – Давление на уровне моря

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.25	37.27	978.8	978.7	0.1
55.25	37.27	978.8	978.7	0.2
55.25	37.27	978.8	978.7	0.1
55.25	37.27	978.8	978.7	0.1
55.25	37.27	978.8	978.7	0.1
55.25	37.27	978.7	978.7	0
55.25	37.27	978.7	978.7	0.1
55.25	37.27	978.7	978.7	0.1
55.25	37.27	978.7	978.7	0.1
56.18	36.24	982.7	982.6	0
56.18	36.24	982.7	982.6	0.1
56.18	36.24	982.7	982.6	0
56.18	36.24	982.7	982.6	0
56.18	36.24	982.7	982.6	0.1
56.18	36.24	982.7	982.6	0
56.18	36.24	982.7	982.6	0
56.18	36.24	982.7	982.6	0.1
56.18	36.24	982.7	982.6	0
54.94	37.3	984.7	984.4	0.2
54.94	37.3	984.6	984.4	0.2
54.94	37.3	984.6	984.4	0.2
54.94	37.3	984.6	984.4	0.2
54.94	37.3	984.6	984.4	0.2
54.94	37.3	984.5	984.4	0.1
54.94	37.3	984.4	984.4	0
54.94	37.3	984.5	984.4	0.1
54.94	37.3	984.5	984.4	0
55.39	36.41	981	980.8	0.2
55.39	36.41	980.9	980.8	0.1
55.39	36.41	980.9	980.8	0.1
55.39	36.41	980.9	980.8	0.1
55.39	36.41	980.9	980.8	0.1
55.39	36.41	980.9	980.8	0.1

Продолжение таблицы А.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.39	36.41	980.9	980.8	0.1
55.39	36.41	980.8	980.8	0
55.39	36.41	980.9	980.8	0.1
55.47	37.78	987.4	987.2	0.2
55.47	37.78	987.4	987.2	0.2
55.47	37.78	987.4	987.2	0.2
55.47	37.78	987.4	987.2	0.2
55.47	37.78	987.4	987.2	0.2
55.47	37.78	987.3	987.2	0.1
55.47	37.78	987.4	987.2	0.2
55.47	37.78	987.4	987.2	0.1
55.47	37.78	987.4	987.2	0.1
55.66	37.54	979.6	979.4	0.1
55.66	37.54	979.6	979.4	0.1
55.66	37.54	979.5	979.4	0.1
55.66	37.54	979.5	979.4	0.1
55.66	37.54	979.5	979.4	0.1
55.66	37.54	979.5	979.4	0.1
55.66	37.54	979.5	979.4	0
55.66	37.54	979.5	979.4	0.1
55.66	37.54	979.5	979.4	0.1
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.72	37.03	988.4	988.3	0.1
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.72	37.03	988.5	988.3	0.2
55.55	37.99	988.7	988.5	0.3
55.55	37.99	988.7	988.5	0.3
55.55	37.99	988.7	988.5	0.2

Продолжение таблицы А.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.55	37.99	988.7	988.5	0.2
55.55	37.99	988.7	988.5	0.2
55.55	37.99	988.6	988.5	0.1
55.55	37.99	988.6	988.5	0.1
55.55	37.99	988.6	988.5	0.1
55.55	37.99	988.6	988.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
56.01	37.45	981.5	981.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
56.01	37.45	981.6	981.5	0.1
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.95	36.69	982.6	982.6	0
55.99	37.78	985.3	985.2	0.1
55.99	37.78	985.3	985.2	0.1
55.99	37.78	985.3	985.2	0.2
55.99	37.78	985.3	985.2	0.2
55.99	37.78	985.3	985.2	0.2
55.99	37.78	985.3	985.2	0.1
55.99	37.78	985.3	985.2	0.1
55.99	37.78	985.3	985.2	0.1
55.99	37.78	985.3	985.2	0.1

Продолжение таблицы А.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55	37.78	981.5	981.3	0.2
55	37.78	981.4	981.3	0.1
55	37.78	981.4	981.3	0.1
55	37.78	981.4	981.3	0.1
55	37.78	981.4	981.3	0.1
55	37.78	981.4	981.3	0.1
55	37.78	981.5	981.3	0.2
55	37.78	981.4	981.3	0.1
55	37.78	981.4	981.3	0.1
54.59	36.54	978.5	978.4	0.1
54.59	36.54	978.4	978.4	0
54.59	36.54	978.5	978.4	0.1
54.59	36.54	978.5	978.4	0.1
54.59	36.54	978.5	978.4	0.1
54.59	36.54	978.4	978.4	0
54.59	36.54	978.4	978.4	0
54.59	36.54	978.4	978.4	0
54.59	36.54	978.4	978.4	0
54.6	36.41	978.8	978.6	0.1
54.6	36.41	978.8	978.6	0.1
54.6	36.41	978.7	978.6	0.1
54.6	36.41	978.7	978.6	0.1
54.6	36.41	978.7	978.6	0.1
54.6	36.41	978.7	978.6	0
54.6	36.41	978.7	978.6	0
54.6	36.41	978.7	978.6	0.1
54.6	36.41	978.7	978.6	0
55.07	37.13	987.3	987.1	0.2
55.07	37.13	987.3	987.1	0.2
55.07	37.13	987.3	987.1	0.2
55.07	37.13	987.3	987.1	0.2
55.07	37.13	987.3	987.1	0.2
55.07	37.13	987.2	987.1	0.1

Продолжение таблицы А.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.07	37.13	987.2	987.1	0.1
55.07	37.13	987.2	987.1	0.1
55.07	37.13	987.2	987.1	0.1

Таблица А.6 – Геопотенциальная высота

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.25	37.27	4591.9	4587.2	4.7
55.25	37.27	4593	4587.2	5.8
55.25	37.27	4591.2	4587.2	4
55.25	37.27	4591.3	4587.2	4.1
55.25	37.27	4592	4587.2	4.8
55.25	37.27	4594.2	4587.2	7
55.25	37.27	4591.1	4587.2	3.9
55.25	37.27	4594.1	4587.2	6.9
55.25	37.27	4595	4587.2	7.8
56.18	36.24	4602.7	4617.3	–14.6
56.18	36.24	4603.1	4617.3	–14.2
56.18	36.24	4603.7	4617.3	–13.6
56.18	36.24	4603.5	4617.3	–13.8
56.18	36.24	4604	4617.3	–13.3
56.18	36.24	4603.6	4617.3	–13.7
56.18	36.24	4603.7	4617.3	–13.6
56.18	36.24	4604.2	4617.3	–13.1
56.18	36.24	4603.7	4617.3	–13.6
54.94	37.3	4610	4602.8	7.2
54.94	37.3	4611.5	4602.8	8.7
54.94	37.3	4608.5	4602.8	5.7
54.94	37.3	4608.7	4602.8	5.9
54.94	37.3	4609.4	4602.8	6.6
54.94	37.3	4613.7	4602.8	10.9
54.94	37.3	4611.1	4602.8	8.3

Продолжение таблицы А.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.94	37.3	4614.5	4602.8	11.7
54.94	37.3	4613.8	4602.8	11
55.39	36.41	4620.6	4621.5	–0.9
55.39	36.41	4621.6	4621.5	0.1
55.39	36.41	4620.8	4621.5	–0.7
55.39	36.41	4620	4621.5	–1.6
55.39	36.41	4621	4621.5	–0.5
55.39	36.41	4621.2	4621.5	–0.3
55.39	36.41	4619	4621.5	–2.5
55.39	36.41	4621.7	4621.5	0.2
55.39	36.41	4620.6	4621.5	–1
55.47	37.78	4562	4558.2	3.8
55.47	37.78	4564	4558.2	5.8
55.47	37.78	4563.6	4558.2	5.4
55.47	37.78	4563.9	4558.2	5.7
55.47	37.78	4564.2	4558.2	5.9
55.47	37.78	4564.7	4558.2	6.4
55.47	37.78	4563.2	4558.2	4.9
55.47	37.78	4564.2	4558.2	6
55.47	37.78	4564	4558.2	5.8
55.66	37.54	4560.7	4561.6	–0.8
55.66	37.54	4561.2	4561.6	–0.4
55.66	37.54	4561.1	4561.6	–0.5
55.66	37.54	4560.8	4561.6	–0.8
55.66	37.54	4561.2	4561.6	–0.3
55.66	37.54	4561.4	4561.6	–0.2
55.66	37.54	4560.5	4561.6	–1.1
55.66	37.54	4561.1	4561.6	–0.5
55.66	37.54	4560.2	4561.6	–1.4
55.72	37.03	4583.6	4589.2	–5.5
55.72	37.03	4585.2	4589.2	–4
55.72	37.03	4582.9	4589.2	–6.3
55.72	37.03	4584	4589.2	–5.1

Продолжение таблицы А.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.72	37.03	4583.7	4589.2	–5.4
55.72	37.03	4584.3	4589.2	–4.9
55.72	37.03	4582.6	4589.2	–6.6
55.72	37.03	4584	4589.2	–5.2
55.72	37.03	4582.9	4589.2	–6.3
55.55	37.99	4555	4547.5	7.5
55.55	37.99	4555.1	4547.5	7.6
55.55	37.99	4553.1	4547.5	5.6
55.55	37.99	4553.4	4547.5	5.8
55.55	37.99	4553.1	4547.5	5.6
55.55	37.99	4554.8	4547.5	7.3
55.55	37.99	4552.7	4547.5	5.2
55.55	37.99	4554.2	4547.5	6.7
55.55	37.99	4554.3	4547.5	6.8
56.01	37.45	4555.3	4560.1	–4.8
56.01	37.45	4555.8	4560.1	–4.3
56.01	37.45	4555.8	4560.1	–4.3
56.01	37.45	4556.4	4560.1	–3.7
56.01	37.45	4556.1	4560.1	–4
56.01	37.45	4555.9	4560.1	–4.2
56.01	37.45	4554.3	4560.1	–5.8
56.01	37.45	4555.2	4560.1	–4.9
56.01	37.45	4555.4	4560.1	–4.7
55.95	36.69	4586.3	4598.6	–12.3
55.95	36.69	4586.1	4598.6	–12.5
55.95	36.69	4587.1	4598.6	–11.5
55.95	36.69	4586.7	4598.6	–11.9
55.95	36.69	4586.9	4598.6	–11.8
55.95	36.69	4586	4598.6	–12.6
55.95	36.69	4585.7	4598.6	–12.9
55.95	36.69	4586.6	4598.6	–12.1
55.95	36.69	4585.5	4598.6	–13.1
55.99	37.78	4542.9	4545.1	–2.1

Продолжение таблицы А.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.99	37.78	4543.7	4545.1	–1.4
55.99	37.78	4542.9	4545.1	–2.2
55.99	37.78	4543.1	4545.1	–2
55.99	37.78	4543.3	4545.1	–1.8
55.99	37.78	4542.1	4545.1	–3
55.99	37.78	4539.3	4545.1	–5.8
55.99	37.78	4542.6	4545.1	–2.4
55.99	37.78	4542.2	4545.1	–2.9
55	37.78	4589	4576.9	12.2
55	37.78	4592.2	4576.9	15.3
55	37.78	4586.5	4576.9	9.7
55	37.78	4587.2	4576.9	10.4
55	37.78	4586.4	4576.9	9.5
55	37.78	4594.7	4576.9	17.9
55	37.78	4592.6	4576.9	15.8
55	37.78	4596.7	4576.9	19.8
55	37.78	4598.2	4576.9	21.3
54.59	36.54	4659.6	4654.4	5.2
54.59	36.54	4659.5	4654.4	5.1
54.59	36.54	4659.7	4654.4	5.3
54.59	36.54	4660	4654.4	5.6
54.59	36.54	4660.3	4654.4	5.9
54.59	36.54	4661.5	4654.4	7
54.59	36.54	4661.6	4654.4	7.2
54.59	36.54	4662.5	4654.4	8.1
54.59	36.54	4662.8	4654.4	8.4
54.6	36.41	4663.5	4658.5	5.1
54.6	36.41	4663.1	4658.5	4.6
54.6	36.41	4663.1	4658.5	4.7
54.6	36.41	4663.4	4658.5	4.9
54.6	36.41	4664	4658.5	5.5
54.6	36.41	4663.8	4658.5	5.3
54.6	36.41	4664.1	4658.5	5.6

Продолжение таблицы А.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.6	36.41	4664.2	4658.5	5.7
54.6	36.41	4664.8	4658.5	6.3
55.07	37.13	4609.8	4604.7	5
55.07	37.13	4610.7	4604.7	5.9
55.07	37.13	4608.7	4604.7	4
55.07	37.13	4607.8	4604.7	3.1
55.07	37.13	4608.2	4604.7	3.5
55.07	37.13	4612.5	4604.7	7.8
55.07	37.13	4610.8	4604.7	6.1
55.07	37.13	4613	4604.7	8.3
55.07	37.13	4613.2	4604.7	8.4

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Примеры полученных результатов с помощью модели WRF на обычной сетке

Таблица Б.1 – Скорость ветра

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.71	37.41	1.5	2.7	-1.2
55.71	37.41	1.8	2.7	-0.9
55.71	37.41	2.8	2.7	0.1
55.71	37.41	2.9	2.7	0.2
55.71	37.41	2.4	2.7	-0.3
55.71	37.41	3.3	2.7	0.6
55.71	37.41	3.6	2.7	0.9
55.71	37.41	2.6	2.7	-0.1
55.71	37.41	2.6	2.7	-0.1
58.55	34.28	2.7	2.3	0.4
58.55	34.28	1.6	2.3	-0.7
58.55	34.28	1.5	2.3	-0.7
58.55	34.28	1.7	2.3	-0.5
58.55	34.28	1.8	2.3	-0.5
58.55	34.28	1.8	2.3	-0.5
58.55	34.28	1.8	2.3	-0.4
58.55	34.28	1.9	2.3	-0.4
58.55	34.28	1.9	2.3	-0.4
54.76	37.44	4.1	2.4	1.7
54.76	37.44	3.2	2.4	0.8
54.76	37.44	3.8	2.4	1.4
54.76	37.44	3.2	2.4	0.8
54.76	37.44	3.3	2.4	0.9
54.76	37.44	3.4	2.4	1
54.76	37.44	4.3	2.4	1.9
54.76	37.44	3.8	2.4	1.4
54.76	37.44	3.8	2.4	1.4
56.17	34.81	2.3	2.5	-0.2
56.17	34.81	3.1	2.5	0.6

Продолжение таблицы Б.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.17	34.81	2.8	2.5	0.3
56.17	34.81	2.9	2.5	0.4
56.17	34.81	3.5	2.5	1
56.17	34.81	2.7	2.5	0.2
56.17	34.81	2.8	2.5	0.3
56.17	34.81	3.2	2.5	0.7
56.17	34.81	3.2	2.5	0.7
56.33	39.03	3.2	1.9	1.3
56.33	39.03	2.5	1.9	0.6
56.33	39.03	3.4	1.9	1.5
56.33	39.03	3.6	1.9	1.6
56.33	39.03	3	1.9	1.1
56.33	39.03	2.9	1.9	1
56.33	39.03	4.5	1.9	2.6
56.33	39.03	3.5	1.9	1.6
56.33	39.03	3.5	1.9	1.6
56.9	38.36	2.9	2.4	0.5
56.9	38.36	3.1	2.4	0.8
56.9	38.36	3.3	2.4	0.9
56.9	38.36	2.9	2.4	0.5
56.9	38.36	2.7	2.4	0.3
56.9	38.36	3	2.4	0.6
56.9	38.36	2.2	2.4	-0.2
56.9	38.36	2.9	2.4	0.6
56.9	38.36	2.9	2.4	0.6
57.14	36.77	3	3	0
57.14	36.77	3.1	3	0.1
57.14	36.77	2.9	3	-0.1
57.14	36.77	2.3	3	-0.7
57.14	36.77	2.9	3	-0.1
57.14	36.77	2.9	3	0
57.14	36.77	6.1	3	3.1
57.14	36.77	2.9	3	-0.1

Продолжение таблицы Б.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
57.14	36.77	2.9	3	-0.1
56.55	39.71	3.4	1.9	1.5
56.55	39.71	3.1	1.9	1.3
56.55	39.71	3.8	1.9	2
56.55	39.71	3	1.9	1.2
56.55	39.71	4.2	1.9	2.3
56.55	39.71	3.6	1.9	1.8
56.55	39.71	3.4	1.9	1.5
56.55	39.71	3.7	1.9	1.9
56.55	39.71	3.7	1.9	1.9
57.98	38.17	3.5	2.9	0.6
57.98	38.17	3.6	2.9	0.7
57.98	38.17	3	2.9	0.2
57.98	38.17	3	2.9	0.1
57.98	38.17	3.1	2.9	0.3
57.98	38.17	3.2	2.9	0.4
57.98	38.17	5.7	2.9	2.8
57.98	38.17	3.4	2.9	0.5
57.98	38.17	3.4	2.9	0.5
57.83	35.74	2.4	2.4	0
57.83	35.74	2.2	2.4	-0.2
57.83	35.74	2.4	2.4	0
57.83	35.74	2.3	2.4	-0.1
57.83	35.74	2.4	2.4	0
57.83	35.74	2.7	2.4	0.3
57.83	35.74	2.5	2.4	0.1
57.83	35.74	2.6	2.4	0.2
57.83	35.74	2.6	2.4	0.2
57.89	39.19	3.3	2.9	0.4
57.89	39.19	3.1	2.9	0.2
57.89	39.19	3.3	2.9	0.4
57.89	39.19	3	2.9	0.1
57.89	39.19	3.3	2.9	0.4

Продолжение таблицы Б.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
57.89	39.19	3.1	2.9	0.2
57.89	39.19	2.2	2.9	-0.7
57.89	39.19	3.1	2.9	0.3
57.89	39.19	3.1	2.9	0.3
54.9	38.9	4.6	3	1.6
54.9	38.9	3.8	3	0.8
54.9	38.9	3.8	3	0.8
54.9	38.9	5	3	2
54.9	38.9	3.8	3	0.9
54.9	38.9	3.7	3	0.7
54.9	38.9	7.1	3	4.1
54.9	38.9	3.6	3	0.6
54.9	38.9	3.6	3	0.6
53.74	35.14	3.4	2	1.4
53.74	35.14	3.7	2	1.7
53.74	35.14	3.6	2	1.6
53.74	35.14	3.3	2	1.3
53.74	35.14	3.8	2	1.8
53.74	35.14	3.7	2	1.8
53.74	35.14	3.7	2	1.7
53.74	35.14	3.6	2	1.6
53.74	35.14	3.6	2	1.6
53.8	34.78	3	2.1	1
53.8	34.78	2.8	2.1	0.7
53.8	34.78	3	2.1	1
53.8	34.78	3	2.1	1
53.8	34.78	3	2.1	1
53.8	34.78	3	2.1	1
53.8	34.78	3.2	2.1	1.1
53.8	34.78	3.1	2.1	1
53.8	34.78	3.1	2.1	1
55.18	36.95	3.4	2.2	1.2
57.89	39.19	3.1	2.9	0.2

Продолжение таблицы Б.1

Координаты		Прогностическое значение (м/с)	Фактическое значение (м/с)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.18	36.95	1.9	2.2	-0.3
55.18	36.95	3.4	2.2	1.2
55.18	36.95	1.5	2.2	-0.8
55.18	36.95	2.2	2.2	-0.1
55.18	36.95	2.4	2.2	0.1
55.18	36.95	2.7	2.2	0.5
55.18	36.95	2.5	2.2	0.3

Таблица Б.2 – Направление ветра

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.71	37.41	161.7	126.6	35.2
55.71	37.41	156.2	126.6	29.6
55.71	37.41	165.4	126.6	38.8
55.71	37.41	141.5	126.6	14.9
55.71	37.41	158.2	126.6	31.7
55.71	37.41	178	126.6	51.4
55.71	37.41	178.8	126.6	52.2
55.71	37.41	272	126.6	145.4
55.71	37.41	272	126.6	145.4
58.55	34.28	298.5	284.8	13.7
58.55	34.28	280	284.8	-4.8
58.55	34.28	167	284.8	-117.8
58.55	34.28	170.7	284.8	-114.1
58.55	34.28	172.4	284.8	-112.4
58.55	34.28	164.9	284.8	-119.9
58.55	34.28	230	284.8	-54.8
58.55	34.28	164	284.8	-120.8
58.55	34.28	164	284.8	-120.8
54.76	37.44	1	93.9	-92.9
54.76	37.44	92.2	93.9	-1.7
54.76	37.44	10.9	93.9	-83.1

Продолжение таблица Б.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.76	37.44	14.1	93.9	-79.8
54.76	37.44	2.5	93.9	-91.4
54.76	37.44	97	93.9	3
54.76	37.44	91.7	93.9	-2.2
54.76	37.44	99.4	93.9	5.4
54.76	37.44	99.4	93.9	5.4
56.17	34.81	292.8	170.8	122
56.17	34.81	291.6	170.8	120.8
56.17	34.81	271.7	170.8	100.9
56.17	34.81	271.9	170.8	101.1
56.17	34.81	283.4	170.8	112.5
56.17	34.81	289.3	170.8	118.5
56.17	34.81	282.3	170.8	111.5
56.17	34.81	286.8	170.8	116
56.17	34.81	286.8	170.8	116
56.33	39.03	277.8	165.3	112.5
56.33	39.03	279.2	165.3	113.9
56.33	39.03	281.3	165.3	116
56.33	39.03	178.1	165.3	12.7
56.33	39.03	275	165.3	109.6
56.33	39.03	175.2	165.3	9.9
56.33	39.03	132.4	165.3	-32.9
56.33	39.03	270.1	165.3	104.8
56.33	39.03	270.1	165.3	104.8
56.9	38.36	271.7	276.9	-5.2
56.9	38.36	274	276.9	-3
56.9	38.36	176.3	276.9	-100.7
56.9	38.36	164.8	276.9	-112.1
56.9	38.36	165.1	276.9	-111.8
56.9	38.36	172.5	276.9	-104.4
56.9	38.36	156.2	276.9	-120.8
56.9	38.36	176.1	276.9	-100.9
56.9	38.36	176.1	276.9	-100.9

Продолжение таблица Б.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
57.14	36.77	282.9	167.8	115.1
57.14	36.77	279.5	167.8	111.6
57.14	36.77	173.3	167.8	5.5
57.14	36.77	274.2	167.8	106.4
57.14	36.77	176.4	167.8	8.6
57.14	36.77	179.4	167.8	11.6
57.14	36.77	325	167.8	157.2
57.14	36.77	273.2	167.8	105.4
57.14	36.77	273.2	167.8	105.4
56.55	39.71	176.6	169.4	7.2
56.55	39.71	169.9	169.4	0.5
56.55	39.71	158.9	169.4	-10.5
56.55	39.71	169	169.4	-0.4
56.55	39.71	170.9	169.4	1.5
56.55	39.71	163.6	169.4	-5.8
56.55	39.71	1.9	169.4	-167.5
56.55	39.71	162.4	169.4	-7
56.55	39.71	162.4	169.4	-7
57.98	38.17	161.1	160	1.1
57.98	38.17	149.8	160	-10.2
57.98	38.17	137.8	160	-22.2
57.98	38.17	135.7	160	-24.3
57.98	38.17	142.2	160	-17.8
57.98	38.17	137.9	160	-22.1
57.98	38.17	166.2	160	6.2
57.98	38.17	141.1	160	-18.9
57.98	38.17	141.1	160	-18.9
57.83	35.74	283.4	272.4	11
57.83	35.74	283.2	272.4	10.8
57.83	35.74	161.6	272.4	-110.8
57.83	35.74	172.4	272.4	-99.9
57.83	35.74	273.6	272.4	1.2
57.83	35.74	177.7	272.4	-94.7

Продолжение таблица Б.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
57.83	35.74	290.5	272.4	18.1
57.83	35.74	179.2	272.4	-93.2
57.83	35.74	179.2	272.4	-93.2
57.89	39.19	163	157.7	5.3
57.89	39.19	147.3	157.7	-10.3
57.89	39.19	135.7	157.7	-22
57.89	39.19	131.4	157.7	-26.2
57.89	39.19	136.9	157.7	-20.8
57.89	39.19	132.3	157.7	-25.4
57.89	39.19	138.4	157.7	-19.2
57.89	39.19	131.6	157.7	-26.1
57.89	39.19	131.6	157.7	-26.1
54.9	38.9	111.1	91.9	19.2
54.9	38.9	103.2	91.9	11.3
54.9	38.9	99.7	91.9	7.8
54.9	38.9	109.2	91.9	17.3
54.9	38.9	109.4	91.9	17.5
54.9	38.9	102.7	91.9	10.8
54.9	38.9	109.1	91.9	17.1
54.9	38.9	111.6	91.9	19.7
54.9	38.9	111.6	91.9	19.7
53.74	35.14	0.3	93.3	-93
53.74	35.14	10.6	93.3	-82.7
53.74	35.14	12.4	93.3	-80.9
53.74	35.14	15.4	93.3	-77.9
53.74	35.14	15.2	93.3	-78.1
53.74	35.14	14.6	93.3	-78.7
53.74	35.14	20.7	93.3	-72.6
53.74	35.14	15	93.3	-78.4
53.74	35.14	15	93.3	-78.4
53.8	34.78	1.1	100.3	-99.2
53.8	34.78	7	100.3	-93.3
53.8	34.78	14.3	100.3	-86

Продолжение таблица Б.2

Координаты		Прогностическое значение (в градусах)	Фактическое значение (в градусах)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
53.8	34.78	27.8	100.3	-72.5
53.8	34.78	23	100.3	-77.3
53.8	34.78	22.5	100.3	-77.8
53.8	34.78	90.4	100.3	-9.9
53.8	34.78	22.9	100.3	-77.4
53.8	34.78	22.9	100.3	-77.4
55.18	36.95	150.4	109.8	40.6
55.18	36.95	133.3	109.8	23.5
55.18	36.95	157	109.8	47.2
55.18	36.95	111.4	109.8	1.6
55.18	36.95	129.1	109.8	19.3
55.18	36.95	151.8	109.8	42
55.18	36.95	148.3	109.8	38.5
55.18	36.95	151.5	109.8	41.7
55.18	36.95	151.5	109.8	41.7

Таблица Б.3 – Температура на 2-ух метрах

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.71	37.41	282.9	283.3	-0.4
55.71	37.41	283.1	283.3	-0.2
55.71	37.41	283.7	283.3	0.4
55.71	37.41	284	283.3	0.7
55.71	37.41	283.4	283.3	0.1
55.71	37.41	283.6	283.3	0.3
55.71	37.41	283.6	283.3	0.3
55.71	37.41	283.7	283.3	0.4
55.71	37.41	283.7	283.3	0.4
58.55	34.28	275	277.2	-2.2
58.55	34.28	276.4	277.2	-0.8
58.55	34.28	276.1	277.2	-1.1
58.55	34.28	276.2	277.2	-0.9

Продолжение таблицы Б.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
58.55	34.28	276.8	277.2	-0.3
58.55	34.28	276.6	277.2	-0.6
58.55	34.28	278.7	277.2	1.6
58.55	34.28	276.5	277.2	-0.6
58.55	34.28	276.5	277.2	-0.6
54.76	37.44	284.3	284.2	0
54.76	37.44	284.6	284.2	0.3
54.76	37.44	284.9	284.2	0.7
54.76	37.44	283.3	284.2	-0.9
54.76	37.44	284.5	284.2	0.3
54.76	37.44	284.7	284.2	0.4
54.76	37.44	286	284.2	1.8
54.76	37.44	284.6	284.2	0.3
54.76	37.44	284.6	284.2	0.3
56.17	34.81	280.7	282.3	-1.6
56.17	34.81	282	282.3	-0.3
56.17	34.81	283	282.3	0.7
56.17	34.81	282.4	282.3	0
56.17	34.81	282.3	282.3	-0.1
56.17	34.81	282	282.3	-0.3
56.17	34.81	282.6	282.3	0.2
56.17	34.81	282.2	282.3	-0.2
56.17	34.81	282.2	282.3	-0.2
56.33	39.03	281.4	281.4	0
56.33	39.03	281.6	281.4	0.2
56.33	39.03	282	281.4	0.6
56.33	39.03	282.3	281.4	0.9
56.33	39.03	282.1	281.4	0.7
56.33	39.03	281.4	281.4	0
56.33	39.03	282	281.4	0.6
56.33	39.03	281.6	281.4	0.2
56.33	39.03	281.6	281.4	0.2
56.9	38.36	277.5	281.5	-3.9

Продолжение таблицы Б.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.9	38.36	279.6	281.5	-1.9
56.9	38.36	279.6	281.5	-1.8
56.9	38.36	279.5	281.5	-1.9
56.9	38.36	280.1	281.5	-1.4
56.9	38.36	279.7	281.5	-1.8
56.9	38.36	280.4	281.5	-1.1
56.9	38.36	279.7	281.5	-1.7
56.9	38.36	279.7	281.5	-1.7
57.14	36.77	277.6	280.8	-3.1
57.14	36.77	278.8	280.8	-2
57.14	36.77	279.2	280.8	-1.6
57.14	36.77	278.9	280.8	-1.9
57.14	36.77	278.8	280.8	-2
57.14	36.77	279	280.8	-1.8
57.14	36.77	280	280.8	-0.8
57.14	36.77	278.9	280.8	-1.9
57.14	36.77	278.9	280.8	-1.9
56.55	39.71	281.6	280.4	1.1
56.55	39.71	280.5	280.4	0.1
56.55	39.71	281.1	280.4	0.7
56.55	39.71	281.1	280.4	0.7
56.55	39.71	281.2	280.4	0.8
56.55	39.71	280.8	280.4	0.4
56.55	39.71	280.2	280.4	-0.2
56.55	39.71	280.6	280.4	0.1
56.55	39.71	280.6	280.4	0.1
57.98	38.17	276.2	278.3	-2
57.98	38.17	277.9	278.3	-0.4
57.98	38.17	276.7	278.3	-1.5
57.98	38.17	276.6	278.3	-1.6
57.98	38.17	276.8	278.3	-1.5
57.98	38.17	276.7	278.3	-1.6
57.98	38.17	277.7	278.3	-0.5

Продолжение таблицы Б.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
57.98	38.17	276.6	278.3	-1.6
57.98	38.17	276.6	278.3	-1.6
57.83	35.74	276.6	277.6	-1.1
57.83	35.74	277.5	277.6	-0.1
57.83	35.74	277.1	277.6	-0.5
57.83	35.74	277.3	277.6	-0.3
57.83	35.74	278	277.6	0.4
57.83	35.74	277.3	277.6	-0.3
57.83	35.74	278.2	277.6	0.6
57.83	35.74	277.1	277.6	-0.5
57.83	35.74	277.1	277.6	-0.5
57.89	39.19	276.1	278.1	-2
57.89	39.19	277.7	278.1	-0.4
57.89	39.19	277.1	278.1	-1
57.89	39.19	277	278.1	-1.1
57.89	39.19	277.1	278.1	-0.9
57.89	39.19	277	278.1	-1.1
57.89	39.19	278.5	278.1	0.4
57.89	39.19	277	278.1	-1.1
57.89	39.19	277	278.1	-1.1
54.9	38.9	284.8	285	-0.1
54.9	38.9	284.9	285	-0.1
54.9	38.9	284.7	285	-0.3
54.9	38.9	283.9	285	-1.1
54.9	38.9	284.8	285	-0.2
54.9	38.9	285	285	0
54.9	38.9	286.4	285	1.4
54.9	38.9	284.7	285	-0.3
54.9	38.9	284.7	285	-0.3
53.74	35.14	283.4	285.1	-1.7
53.74	35.14	284.9	285.1	-0.2
53.74	35.14	284.8	285.1	-0.3
53.74	35.14	284.4	285.1	-0.7

Продолжение таблицы Б.3

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
53.74	35.14	284.6	285.1	-0.6
53.74	35.14	284.7	285.1	-0.5
53.74	35.14	285	285.1	-0.1
53.74	35.14	284.6	285.1	-0.5
53.74	35.14	284.6	285.1	-0.5
53.8	34.78	283	285.2	-2.2
53.8	34.78	284.5	285.2	-0.7
53.8	34.78	284.1	285.2	-1.1
53.8	34.78	283.7	285.2	-1.5
53.8	34.78	283.9	285.2	-1.2
53.8	34.78	284	285.2	-1.2
53.8	34.78	285.3	285.2	0.1
53.8	34.78	284	285.2	-1.2
53.8	34.78	284	285.2	-1.2
55.18	36.95	282.7	283.8	-1.1
55.18	36.95	283.4	283.8	-0.4
55.18	36.95	284.9	283.8	1.1
55.18	36.95	281.7	283.8	-2.1
55.18	36.95	283.7	283.8	-0.1
55.18	36.95	283.7	283.8	-0.2
55.18	36.95	285.2	283.8	1.4
55.18	36.95	283.5	283.8	-0.3
55.18	36.95	283.5	283.8	-0.3

Таблица Б.4 – Потенциальная температура

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.71	37.41	284	284.8	-0.7
55.71	37.41	284.3	284.8	-0.5
55.71	37.41	284.9	284.8	0.1
55.71	37.41	285.2	284.8	0.4
55.71	37.41	284.6	284.8	-0.2

Продолжение таблицы Б.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.71	37.41	284.8	284.8	0
55.71	37.41	284.8	284.8	0
55.71	37.41	284.9	284.8	0.1
55.71	37.41	284.9	284.8	0.1
58.55	34.28	276	278.4	-2.5
58.55	34.28	277.4	278.4	-1.1
58.55	34.28	277.1	278.4	-1.4
58.55	34.28	277.2	278.4	-1.2
58.55	34.28	277.8	278.4	-0.6
58.55	34.28	277.6	278.4	-0.9
58.55	34.28	279.7	278.4	1.3
58.55	34.28	277.5	278.4	-0.9
58.55	34.28	277.5	278.4	-0.9
54.76	37.44	286	286.2	-0.2
54.76	37.44	286.3	286.2	0.1
54.76	37.44	286.6	286.2	0.4
54.76	37.44	285	286.2	-1.2
54.76	37.44	286.2	286.2	0
54.76	37.44	286.3	286.2	0.2
54.76	37.44	287.7	286.2	1.5
54.76	37.44	286.3	286.2	0.1
54.76	37.44	286.3	286.2	0.1
56.17	34.81	282.3	284.2	-1.9
56.17	34.81	283.6	284.2	-0.6
56.17	34.81	284.5	284.2	0.4
56.17	34.81	283.9	284.2	-0.2
56.17	34.81	283.8	284.2	-0.4
56.17	34.81	283.6	284.2	-0.6
56.17	34.81	284.1	284.2	0
56.17	34.81	283.7	284.2	-0.5
56.17	34.81	283.7	284.2	-0.5
56.33	39.03	282.6	282.9	-0.3
56.33	39.03	282.8	282.9	-0.2

Продолжение таблицы Б.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.33	39.03	283.2	282.9	0.3
56.33	39.03	283.5	282.9	0.6
56.33	39.03	283.3	282.9	0.4
56.33	39.03	282.5	282.9	-0.4
56.33	39.03	283.2	282.9	0.3
56.33	39.03	282.8	282.9	-0.1
56.33	39.03	282.8	282.9	-0.1
56.9	38.36	278.5	282.7	-4.3
56.9	38.36	280.5	282.7	-2.2
56.9	38.36	280.6	282.7	-2.2
56.9	38.36	280.5	282.7	-2.3
56.9	38.36	281	282.7	-1.7
56.9	38.36	280.6	282.7	-2.1
56.9	38.36	281.3	282.7	-1.4
56.9	38.36	280.7	282.7	-2.1
56.9	38.36	280.7	282.7	-2.1
57.14	36.77	278.7	282.2	-3.5
57.14	36.77	279.8	282.2	-2.3
57.14	36.77	280.3	282.2	-1.9
57.14	36.77	279.9	282.2	-2.2
57.14	36.77	279.8	282.2	-2.3
57.14	36.77	280	282.2	-2.1
57.14	36.77	281	282.2	-1.1
57.14	36.77	279.9	282.2	-2.2
57.14	36.77	279.9	282.2	-2.2
56.55	39.71	282.8	281.9	0.8
56.55	39.71	281.7	281.9	-0.2
56.55	39.71	282.3	281.9	0.4
56.55	39.71	282.3	281.9	0.4
56.55	39.71	282.4	281.9	0.5
56.55	39.71	282	281.9	0
56.55	39.71	281.4	281.9	-0.5
56.55	39.71	281.8	281.9	-0.2

Продолжение таблицы Б.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.55	39.71	281.8	281.9	-0.2
57.98	38.17	277.1	279.4	-2.3
57.98	38.17	278.7	279.4	-0.7
57.98	38.17	277.6	279.4	-1.8
57.98	38.17	277.5	279.4	-1.9
57.98	38.17	277.6	279.4	-1.8
57.98	38.17	277.5	279.4	-1.9
57.98	38.17	278.6	279.4	-0.9
57.98	38.17	277.5	279.4	-1.9
57.98	38.17	277.5	279.4	-1.9
57.83	35.74	277.3	278.6	-1.3
57.83	35.74	278.2	278.6	-0.4
57.83	35.74	277.9	278.6	-0.8
57.83	35.74	278	278.6	-0.6
57.83	35.74	278.7	278.6	0.1
57.83	35.74	278.1	278.6	-0.6
57.83	35.74	279	278.6	0.3
57.83	35.74	277.9	278.6	-0.8
57.83	35.74	277.9	278.6	-0.8
57.89	39.19	277	279.3	-2.3
57.89	39.19	278.6	279.3	-0.7
57.89	39.19	278.1	279.3	-1.3
57.89	39.19	277.9	279.3	-1.4
57.89	39.19	278.1	279.3	-1.2
57.89	39.19	277.9	279.3	-1.4
57.89	39.19	279.5	279.3	0.1
57.89	39.19	277.9	279.3	-1.4
57.89	39.19	277.9	279.3	-1.4
54.9	38.9	286.3	286.7	-0.4
54.9	38.9	286.3	286.7	-0.4
54.9	38.9	286.1	286.7	-0.6
54.9	38.9	285.4	286.7	-1.4
54.9	38.9	286.2	286.7	-0.5

Продолжение таблицы Б.4

Координаты		Прогностическое значение (К)	Фактическое значение (К)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.9	38.9	286.4	286.7	-0.3
54.9	38.9	287.9	286.7	1.2
54.9	38.9	286.2	286.7	-0.6
54.9	38.9	286.2	286.7	-0.6
53.74	35.14	284.9	286.9	-2
53.74	35.14	286.4	286.9	-0.5
53.74	35.14	286.3	286.9	-0.6
53.74	35.14	285.9	286.9	-1
53.74	35.14	286.1	286.9	-0.8
53.74	35.14	286.1	286.9	-0.8
53.74	35.14	286.5	286.9	-0.4
53.74	35.14	286.1	286.9	-0.8
53.74	35.14	286.1	286.9	-0.8
53.8	34.78	284.3	286.8	-2.5
53.8	34.78	285.8	286.8	-1
53.8	34.78	285.4	286.8	-1.4
53.8	34.78	285	286.8	-1.8
53.8	34.78	285.3	286.8	-1.5
53.8	34.78	285.3	286.8	-1.5
53.8	34.78	286.7	286.8	-0.1
53.8	34.78	285.3	286.8	-1.5
53.8	34.78	285.3	286.8	-1.5
55.18	36.95	283.9	285.3	-1.3
55.18	36.95	284.6	285.3	-0.7
55.18	36.95	286.1	285.3	0.9
55.18	36.95	282.8	285.3	-2.5
55.18	36.95	284.9	285.3	-0.4
55.18	36.95	284.8	285.3	-0.4
55.18	36.95	286.4	285.3	1.1
55.18	36.95	284.7	285.3	-0.5
55.18	36.95	284.7	285.3	-0.5

Таблица Б.5 – Давление на уровне моря

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.71	37.41	985.7	985.4	0.3
55.71	37.41	985.6	985.4	0.2
55.71	37.41	985.7	985.4	0.2
55.71	37.41	985.9	985.4	0.4
55.71	37.41	985.7	985.4	0.3
55.71	37.41	985.8	985.4	0.3
55.71	37.41	985.7	985.4	0.2
55.71	37.41	985.8	985.4	0.4
55.71	37.41	985.8	985.4	0.4
58.55	34.28	987.5	987.3	0.3
58.55	34.28	987.7	987.3	0.4
58.55	34.28	987.7	987.3	0.4
58.55	34.28	987.6	987.3	0.3
58.55	34.28	987.7	987.3	0.4
58.55	34.28	987.7	987.3	0.4
58.55	34.28	987.6	987.3	0.3
58.55	34.28	987.7	987.3	0.4
58.55	34.28	987.7	987.3	0.4
54.76	37.44	979.7	979.7	0
54.76	37.44	979.7	979.7	0
54.76	37.44	979.4	979.7	-0.3
54.76	37.44	980	979.7	0.3
54.76	37.44	979.8	979.7	0
54.76	37.44	979.7	979.7	0
54.76	37.44	979.4	979.7	-0.3
54.76	37.44	979.7	979.7	0
54.76	37.44	979.7	979.7	0
56.17	34.81	981.1	981.1	0
56.17	34.81	981.1	981.1	0
56.17	34.81	981.4	981.1	0.3
56.17	34.81	981	981.1	-0.1
56.17	34.81	981.2	981.1	0.2
56.17	34.81	981.2	981.1	0.1

Продолжение таблицы Б.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.17	34.81	981.3	981.1	0.2
56.17	34.81	981.2	981.1	0.2
56.17	34.81	981.2	981.1	0.2
56.33	39.03	985.3	984.9	0.4
56.33	39.03	985.4	984.9	0.5
56.33	39.03	985.5	984.9	0.6
56.33	39.03	985.5	984.9	0.5
56.33	39.03	985.6	984.9	0.7
56.33	39.03	985.6	984.9	0.7
56.33	39.03	985.4	984.9	0.5
56.33	39.03	985.5	984.9	0.6
56.33	39.03	985.5	984.9	0.6
56.9	38.36	988	987.4	0.6
56.9	38.36	988.1	987.4	0.7
56.9	38.36	988.2	987.4	0.8
56.9	38.36	988.1	987.4	0.7
56.9	38.36	988.2	987.4	0.8
56.9	38.36	988.3	987.4	0.9
56.9	38.36	988.2	987.4	0.7
56.9	38.36	988.3	987.4	0.9
56.9	38.36	988.3	987.4	0.9
57.14	36.77	987	986.3	0.7
57.14	36.77	987.2	986.3	0.8
57.14	36.77	987.2	986.3	0.9
57.14	36.77	987.1	986.3	0.8
57.14	36.77	987.1	986.3	0.8
57.14	36.77	987.2	986.3	0.9
57.14	36.77	987.1	986.3	0.8
57.14	36.77	987.2	986.3	0.9
57.14	36.77	987.2	986.3	0.9
56.55	39.71	985	984.5	0.4
56.55	39.71	985.1	984.5	0.5
56.55	39.71	985.1	984.5	0.6

Продолжение таблицы Б.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
56.55	39.71	985.1	984.5	0.6
56.55	39.71	985.1	984.5	0.5
56.55	39.71	985.1	984.5	0.6
56.55	39.71	985	984.5	0.5
56.55	39.71	985.1	984.5	0.6
56.55	39.71	985.1	984.5	0.6
57.98	38.17	989.3	989.1	0.2
57.98	38.17	989.5	989.1	0.4
57.98	38.17	989.5	989.1	0.4
57.98	38.17	989.5	989.1	0.4
57.98	38.17	989.5	989.1	0.4
57.98	38.17	989.5	989.1	0.4
57.98	38.17	989.6	989.1	0.5
57.98	38.17	989.5	989.1	0.4
57.98	38.17	989.5	989.1	0.4
57.83	35.74	990.6	990.4	0.2
57.83	35.74	990.8	990.4	0.4
57.83	35.74	990.8	990.4	0.5
57.83	35.74	990.7	990.4	0.3
57.83	35.74	990.6	990.4	0.2
57.83	35.74	990.7	990.4	0.4
57.83	35.74	990.7	990.4	0.3
57.83	35.74	990.7	990.4	0.4
57.83	35.74	990.7	990.4	0.4
57.89	39.19	988.2	987.9	0.3
57.89	39.19	988.3	987.9	0.4
57.89	39.19	988.2	987.9	0.3
57.89	39.19	988.3	987.9	0.4
57.89	39.19	988.2	987.9	0.3
57.89	39.19	988.3	987.9	0.4
57.89	39.19	988.2	987.9	0.3
57.89	39.19	988.2	987.9	0.4
57.89	39.19	988.2	987.9	0.4

Продолжение таблицы Б.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.9	38.9	982.6	982.5	0.2
54.9	38.9	982.5	982.5	0
54.9	38.9	982.1	982.5	-0.3
54.9	38.9	982.8	982.5	0.3
54.9	38.9	982.6	982.5	0.2
54.9	38.9	982.4	982.5	-0.1
54.9	38.9	982.2	982.5	-0.2
54.9	38.9	982.5	982.5	0
54.9	38.9	982.5	982.5	0
53.74	35.14	982.1	982.1	0
53.74	35.14	982.1	982.1	0
53.74	35.14	982.3	982.1	0.2
53.74	35.14	982.3	982.1	0.2
53.74	35.14	982.1	982.1	0
53.74	35.14	982.2	982.1	0.1
53.74	35.14	982.3	982.1	0.2
53.74	35.14	982.2	982.1	0.1
53.74	35.14	982.2	982.1	0.1
53.8	34.78	983.9	983.8	0.1
53.8	34.78	983.9	983.8	0.1
53.8	34.78	983.9	983.8	0.1
53.8	34.78	984	983.8	0.2
53.8	34.78	983.8	983.8	0
53.8	34.78	983.9	983.8	0.1
53.8	34.78	984.1	983.8	0.3
53.8	34.78	983.9	983.8	0.1
53.8	34.78	983.9	983.8	0.1
55.18	36.95	985.3	985.5	-0.1
55.18	36.95	985.4	985.5	-0.1
55.18	36.95	985.2	985.5	-0.2
55.18	36.95	985.8	985.5	0.4
55.18	36.95	985.5	985.5	0.1
55.18	36.95	985.5	985.5	0.1

Продолжение таблицы Б.5

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.18	36.95	985.2	985.5	-0.3
55.18	36.95	985.6	985.5	0.1
55.18	36.95	985.6	985.5	0.1

Таблица Б.6 – Геопотенциальная высота

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
55.71	37.41	4564.5	4567	-2.6
55.71	37.41	4565	4567	-2
55.71	37.41	4572.3	4567	5.3
55.71	37.41	4589.9	4567	22.9
55.71	37.41	4544.7	4567	-22.3
55.71	37.41	4576.9	4567	9.9
55.71	37.41	4559.5	4567	-7.5
55.71	37.41	4581.6	4567	14.5
55.71	37.41	4581.6	4567	14.5
58.55	34.28	4757.2	4744.9	12.3
58.55	34.28	4766.5	4744.9	21.6
58.55	34.28	4767.5	4744.9	22.6
58.55	34.28	4757.4	4744.9	12.6
58.55	34.28	4767.7	4744.9	22.8
58.55	34.28	4767.8	4744.9	22.9
58.55	34.28	4768.6	4744.9	23.7
58.55	34.28	4766.9	4744.9	22
58.55	34.28	4766.9	4744.9	22
54.76	37.44	4604.5	4605.8	-1.4
54.76	37.44	4588.7	4605.8	-17.1
54.76	37.44	4579.6	4605.8	-26.2
54.76	37.44	4624.6	4605.8	18.8
54.76	37.44	4598.1	4605.8	-7.7
54.76	37.44	4593	4605.8	-12.8
54.76	37.44	4584.5	4605.8	-21.3

Продолжение таблицы Б.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
54.76	37.44	4598.1	4605.8	-7.7
54.76	37.44	4598.1	4605.8	-7.7
56.17	34.81	4676.1	4679.4	-3.2
56.17	34.81	4666	4679.4	-13.4
56.17	34.81	4695.4	4679.4	16.1
56.17	34.81	4665.4	4679.4	-14
56.17	34.81	4678.2	4679.4	-1.2
56.17	34.81	4683.9	4679.4	4.5
56.17	34.81	4690.8	4679.4	11.5
56.17	34.81	4684.4	4679.4	5
56.17	34.81	4684.4	4679.4	5
56.33	39.03	4509.5	4497.8	11.7
56.33	39.03	4513.8	4497.8	16
56.33	39.03	4520.3	4497.8	22.5
56.33	39.03	4526.9	4497.8	29.1
56.33	39.03	4530.2	4497.8	32.4
56.33	39.03	4524	4497.8	26.2
56.33	39.03	4524.9	4497.8	27.1
56.33	39.03	4518.2	4497.8	20.4
56.33	39.03	4518.2	4497.8	20.4
56.9	38.36	4552.9	4529.2	23.6
56.9	38.36	4556.5	4529.2	27.3
56.9	38.36	4564.5	4529.2	35.3
56.9	38.36	4567.2	4529.2	38
56.9	38.36	4569	4529.2	39.8
56.9	38.36	4569.8	4529.2	40.5
56.9	38.36	4570.2	4529.2	41
56.9	38.36	4571.4	4529.2	42.2
56.9	38.36	4571.4	4529.2	42.2
57.14	36.77	4625.8	4594.6	31.1
57.14	36.77	4637.5	4594.6	42.9
57.14	36.77	4644.1	4594.6	49.4
57.14	36.77	4636.9	4594.6	42.3

Продолжение таблицы Б.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
57.14	36.77	4642.6	4594.6	47.9
57.14	36.77	4647.9	4594.6	53.3
57.14	36.77	4638.4	4594.6	43.7
57.14	36.77	4647.7	4594.6	53
57.14	36.77	4647.7	4594.6	53
56.55	39.71	4491.6	4474.6	17
56.55	39.71	4493.8	4474.6	19.1
56.55	39.71	4496.7	4474.6	22.1
56.55	39.71	4505.2	4474.6	30.6
56.55	39.71	4500.1	4474.6	25.4
56.55	39.71	4498.9	4474.6	24.3
56.55	39.71	4497.6	4474.6	22.9
56.55	39.71	4498.9	4474.6	24.3
56.55	39.71	4498.9	4474.6	24.3
57.98	38.17	4572.8	4566.1	6.7
57.98	38.17	4579.2	4566.1	13.1
57.98	38.17	4584.1	4566.1	18
57.98	38.17	4584.2	4566.1	18
57.98	38.17	4581.7	4566.1	15.6
57.98	38.17	4587	4566.1	20.9
57.98	38.17	4589.2	4566.1	23.1
57.98	38.17	4582.9	4566.1	16.8
57.98	38.17	4582.9	4566.1	16.8
57.83	35.74	4691.1	4675.9	15.2
57.83	35.74	4701.3	4675.9	25.4
57.83	35.74	4710.2	4675.9	34.3
57.83	35.74	4700.5	4675.9	24.6
57.83	35.74	4698.3	4675.9	22.4
57.83	35.74	4707.3	4675.9	31.4
57.83	35.74	4700.2	4675.9	24.3
57.83	35.74	4707.6	4675.9	31.7
57.83	35.74	4707.6	4675.9	31.7
57.89	39.19	4518.5	4509.7	8.8

Продолжение таблицы Б.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
57.89	39.19	4523.3	4509.7	13.6
57.89	39.19	4521.6	4509.7	11.9
57.89	39.19	4526.7	4509.7	17
57.89	39.19	4522.8	4509.7	13.1
57.89	39.19	4528.1	4509.7	18.4
57.89	39.19	4525.1	4509.7	15.4
57.89	39.19	4525.5	4509.7	15.8
57.89	39.19	4525.5	4509.7	15.8
54.9	38.9	4540.6	4532.4	8.2
54.9	38.9	4527.8	4532.4	-4.6
54.9	38.9	4505.9	4532.4	-26.6
54.9	38.9	4541.5	4532.4	9.1
54.9	38.9	4536.4	4532.4	3.9
54.9	38.9	4525	4532.4	-7.4
54.9	38.9	4521	4532.4	-11.4
54.9	38.9	4526	4532.4	-6.4
54.9	38.9	4526	4532.4	-6.4
53.74	35.14	4780	4774.9	5.1
53.74	35.14	4772.2	4774.9	-2.7
53.74	35.14	4772	4774.9	-2.9
53.74	35.14	4789.1	4774.9	14.2
53.74	35.14	4771.5	4774.9	-3.4
53.74	35.14	4776.5	4774.9	1.5
53.74	35.14	4790.8	4774.9	15.9
53.74	35.14	4776.5	4774.9	1.6
53.74	35.14	4776.5	4774.9	1.6
53.8	34.78	4783.2	4782.9	0.3
53.8	34.78	4777.4	4782.9	-5.5
53.8	34.78	4772.1	4782.9	-10.9
53.8	34.78	4790	4782.9	7.1
53.8	34.78	4777.3	4782.9	-5.6
53.8	34.78	4780.9	4782.9	-2
53.8	34.78	4796.8	4782.9	13.9

Продолжение таблицы Б.6

Координаты		Прогностическое значение (гПа)	Фактическое значение (гПа)	Разница между прогностическим и фактическим значением
Широта	Долгота			
53.8	34.78	4778.9	4782.9	-4
53.8	34.78	4778.9	4782.9	-4
55.18	36.95	4598.3	4606.1	-7.8
55.18	36.95	4575.7	4606.1	-30.4
55.18	36.95	4582.6	4606.1	-23.5
55.18	36.95	4611	4606.1	4.9
55.18	36.95	4598.2	4606.1	-7.9
55.18	36.95	4602.1	4606.1	-4
55.18	36.95	4587.3	4606.1	-18.8
55.18	36.95	4604.7	4606.1	-1.4
55.18	36.95	4604.7	4606.1	-1.4