

Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Геолого-географический факультет
Кафедра метеорологии и климатологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП
д-р геогр. наук, профессор
В. П. Горбатенко
«04» июня 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА

по основной образовательной программе подготовки магистров
направление подготовки 05.04.04 - Гидрометеорология

Будз Татьяна Васильевна

Научный руководитель ВКР
проф. доктор геогр. наук
В. П. Горбатенко
подпись
«04» июня 2018 г.

Автор
работы

студентка группы № 02609
Т. В. Будз
подпись

Томск-2018

АННОТАЦИЯ

Настоящая работа посвящена исследованию анализ оправдываемости прогностических полей температуры воздуха, скорости ветра и количества выпавших осадков в дни циклогенеза по модели COSMO-Ru над территорией Новосибирской области.

Базой данных послужили результаты расчета полей температуры воздуха, скорости ветра, количества осадков по территории области (35 метеорологических станций) за расчетные сроки 00 и 12 ВСВ с 2015 по 2017 гг., а также суточные метеорологические данные за тот же период.

Для анализа общей синоптической ситуации и выявления траекторий смещения или возникновения местных циклонов в работе приведен анализ кольцевых карт погоды над территорией Западной Сибири.

В результате проделанной работы было выявлено, что

- в среднем за расчетные сроки 00 и 12 ВСВ модель COSMO-Ru занижает прогностическую температуру днем на 2-4 °С, а ночью завышает на 3-5 °С; оценка прогностических полей скорости ветра показала, что имеется завышение скорости ветра ночью на 2-3 м/с, а днем на 1-2 м/с.

- большинство случаев при анализе полей осадков с максимальными ошибками отмечались на следующих станциях: Крещенка, Мошково, Колывань, Барабинск, Убинское – север территории, Обская ГЭС, Ужаниха, Искитим, Купино, Довольное – юг, юго-восток территории. Данные пункты совпадают с траекторией смещения местных циклонов, таким образом ошибки прогноза полей осадков по модели COSMO-Ru связаны с прохождением активных местных циклонов через территорию Новосибирской области.

- наибольшее число неспрогнозированных осадков, приходится на май и июль (69-157 и 106-116 случаев соответственно). В том числе моделью не были спрогнозированы сильные осадки в июле и августе (26-31 и – 12-14).

Настоящая работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 112 страниц и включает 10 иллюстраций, 3 таблицы и 4 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Численное моделирование атмосферных процессов	8
1.1 История численного моделирования	8
1.2 Глобальные модели атмосферы	11
2. Мезомасштабные модели численного прогноза погоды	17
2.1 Мезомасштабные модели используемые в Западно-Сибирском гидрометцентре.	19
2.2 Материалы и методы исследования оправдываемости результатов мезомасштабного моделирования	29
2.3 Оправдываемость расчетов численных методов и моделей над территорией Западной Сибири	30
3 Циклогенез над территорией Западной Сибири	35
3.1 Описание местных циклонов над территорией Новосибирской области в период с 2015 по 2017 гг.	35
4 Оправдываемость метеорологических полей в дни с местным циклогенезом	38
4.1 Оправдываемость полей температуры воздуха по модели COSMO-Ru над территорией Новосибирской области	38
4.2 Оправдываемость полей скорости ветра по модели COSMO-Ru над территорией Новосибирской области	41
4.3 Оправдываемость полей количества осадков по модели COSMO-Ru над территорией Новосибирской области	43
4.4 Оправдываемость сильных осадков по модели COSMO-Ru	48
Заключение	50

Список источников и использованной литературы	52
Приложение А	59
Приложение Б	74
Приложение В	84
Приложение Г	89

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития метеорологии и климатологии связан с постоянным использованием вычислительных систем для проведения моделирования процессов в атмосфере и подстилающем слое.

В настоящее время разработаны наиболее совершенные компьютерные модели атмосферы, способные воспроизводить не только атмосферные процессы различных масштабов, от высотных фронтальных зон до молний и отдельных грозových облаков, но и переносы химических веществ, фотохимические и гидрологические процессы.

Компьютерные модели призваны улучшить представление и понимание атмосферных процессов для совершенствования прогноза опасных погодных явлений и предотвращения возможных чрезвычайных ситуаций, связанных с атмосферными явлениями.

Все существующие атмосферные модели условно можно разделить на глобальные, региональные и мезомасштабные. Основа данного деления — это пространственное разрешение, которое воспроизводят данные модели: глобальные модели служат для воспроизведения глобальной циркуляции воздушных масс – Global Forecast System (GFS), Unified Model (UM); региональные концентрируются на особенностях определенного региона исследования – NAM (North American Mesoscale), COSMO, ALADIN; мезомасштабные призваны улавливать процессы малых масштабов – MM5, WRF.

Разработка современных компьютерных атмосферных моделей ведется крупными университетами, исследовательскими центрами и метеослужбами.

Реализация счета компьютерной атмосферной модели требует значительных вычислительных ресурсов для того, чтобы моделировать необходимые процессы к определенному сроку и с необходимым разрешением. Поэтому запуски и расчеты подобных моделей чаще всего

ведутся в специализированных центрах обработки данных и вычислительных центрах.

Для решения задач прогноза не только таких метеорологических параметров как температура, ветер, осадки, но и опасных конвективных явлений с 2008 года в СибНИГМИ проводились работы по внедрению мезомасштабной численной COSMO-Ru в оперативную работу синоптиков. Данная модель широко применяется для целей прогноза локальных опасных атмосферных явлений и является одной из самых современных мезомасштабных моделей.

Целью настоящей работы является анализ оправдываемости прогностических полей температуры воздуха, скорости ветра и количества выпавших осадков в дни циклогенеза по модели COSMO над территорией Новосибирской области с 2015 по 2017 гг.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Из полученного массива прогностических данных по модели COSMO-Ru за период с 2015 по 2017 гг. выбраны месяцы, в течение которых над Новосибирской областью формировались местные циклоны или смещались с близлежащих районов.

2. Проведен анализ прогноза полей температуры воздуха в данные месяцы.

3. Анализ прогноза полей скорости ветра.

4. Анализ прогноза полей количества спрогнозированных и фактически наблюдаемых осадков.

5. Были проанализированы значительные ошибки в среднем по территории, а также в периоды действия местных циклонов.

6. Составлены таблицы сопряженности прогноза и фактически наблюдаемых осадков (как явления) на метеостанциях Новосибирской области.

Результаты исследования в дальнейшем будут использованы для улучшения качества прогноза модели COSMO-Ru, поскольку она является

одной из ведущих численных моделей используемой в оперативно-прогностической работе.

1 Численное моделирование атмосферных процессов

Численный прогноз погоды с высоким пространственным разрешением требует больших вычислительных ресурсов, в первую очередь в связи с тем, что оперативный прогноз налагает ограничение на допустимое время счета модели – не более 10–20 минут на расчет прогноза на 24 часа. Помимо этого, в системе усвоения данных на каждом цикле необходимо рассчитывать порядка 100 краткосрочных прогнозов, что также требует больших вычислительных ресурсов.

Собственные технологии моделирования глобальной модели развивают только около десятка стран во всем мире (США, Англия, Канада, Франция, Япония, Германия, Австралия, Китай и Россия).

Физика атмосферных процессов достаточно сложна и изучена не полностью (особенно процессы в облаках). Вследствие ограниченности вычислительных ресурсов пространственное разрешение глобальных моделей недостаточно для полного описания абсолютно процессов (например, глубокой конвекции), поэтому такие процессы необходимо описывать параметрически, зная лишь характеристики атмосферы на масштабе характерного размера ячейки сетки. Разработка полного набора таких параметризаций является очень трудоемкой задачей. Для развития и поддержки разработки таких моделей требуются усилия специалистов различного профиля.

1.1 История численного моделирования

Самые первые численные модели прогноза погоды появились практически одновременно с появлением первых компьютеров. Данные модели были весьма несовершенны, они основались на одном двумерном уравнении переноса атмосферного вихря. С развитием вычислительной техники также происходило и усложнение моделей оперативного прогноза

погоды: в середине 60-х годов XX века одно двумерное уравнение уступило место системе уравнений мелкой воды на сфере. К концу 60-х годов были разработаны вычислительные методы, позволяющие решать трехмерные уравнения атмосферы [1]. В свою очередь, дальнейшее повышение производительности компьютеров в начале 70-х годов привело к моделям атмосферы, основанным на полной трехмерной системе уравнений атмосферы. В дальнейшем развитие моделей атмосферы шло, наряду с повышением разрешения, в направлении все большего усложнения параметрического описания процессов подсеточного масштаба (например, уходящей и приходящей радиации, образования осадков, взаимодействия набегающего потока с рельефом).

Моделирование климата начало развиваться несколько десятилетий назад. Вначале климатические модели были фактически глобальными моделями атмосферы с фиксированной температурой поверхности океана. В дальнейшем климатические модели развивались в направлении большего усложнения, к ним постепенно подключались модели океана, почвы, морского льда и т. д.

Численный прогноз погоды и моделирование климата всегда являлись областями применения самых мощных для своего времени вычислительных систем. Например, первая серийная революционная для своего времени векторная вычислительная система Cray-1 была установлена в только что открывшемся тогда (1977г.) международном Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) в Рэдинге (Великобритания).

В 90-х годах прошлого столетия за рубежом в метеорологических и климатических центрах появились параллельные вычислительные системы с распределенной памятью. Многие центры выполнили работы по усовершенствованию своих моделей. Эти работы сопровождалась массовым внедрением технологии MPI, предназначенной для использования на параллельных вычислительных системах. Постепенно число процессоров, используемых моделями атмосферы, росло. В ряде оперативных моделей

прогноза погоды используется от одной до нескольких тысяч процессоров. В моделировании климата число используемых процессоров уже достигает десятка тысяч, т. к. в моделях климатической системы, как правило, параллельно работают модели атмосферы, океана, морского льда и др.

По мере развития моделей атмосферы, прогресса вычислительной техники становится все более очевидно, что с улучшением параметризаций процессов подсеточного масштаба и повышением пространственного разрешения ошибки модельного климата уменьшаются [2, 3]. Это подтверждается и результатами по проекту сравнения моделей Земной системы CMIP3 (2007 г.) и CMIP5 (2013 г.).

Чем выше разрешение модели атмосферы (и, следовательно, размерность решаемой задачи), тем точнее мы можем описать рельеф земной поверхности (орографию) и его взаимодействие с атмосферным потоком. Более высокое разрешение модели атмосферы позволяет точнее описывать каскад энергии по спектру атмосферных движений, а в некоторых случаях перейти от параметрического к явному описанию атмосферных явлений (например, глубокой конвекции). Это, в свою очередь, способствует уменьшению ошибок прогноза.

Размерность вычислительной области в современных глобальных моделях прогноза погоды составляет порядка 10^8 ($1000 \times 1000 \times 100$), что определяется необходимостью разрешения мезомасштабных синоптических процессов.

В моделировании климата атмосферы размерность задачи несколько меньше (10^6 – 10^7 для каждой из моделей), но требуется проведение массовых расчетов с моделями на столетия модельного времени, например по различным сценариям увеличения концентраций парниковых газов. Более высокое разрешение модели атмосферы, в частности, позволяет лучше воспроизводить изменчивость атмосферной циркуляции в тропиках. Согласно различным оценкам, минимально необходимое для этого горизонтальное разрешение климатической модели атмосферы составляет

примерно 100 км (0,9 градуса), что дает минимальную размерность вычислительной области по горизонтали (400×200).

В области как прогноза погоды, так и моделирования климата атмосферы ставится задача достичь горизонтального разрешения порядка 1 км. В настоящее время вычислительные ресурсы не позволяют достичь в глобальных моделях такого разрешения. Повышение горизонтального разрешения глобальных моделей атмосферы до величины менее 7–10 км, ожидаемое в ближайшие несколько лет, будет означать переход на полные уравнения негидростатической сжимаемой атмосферы, избавленные от ряда упрощений, свойственных нынешним глобальным моделям атмосферы. Это приведет к существенному изменению вычислительных алгоритмов модели атмосферы.

1.2 Глобальные модели атмосферы

В настоящее время ведущие прогностические центры используют для глобального среднесрочного прогноза численные гидродинамические модели с горизонтальным разрешением 13–30 км. В таблице 1.1 приведены данные о характеристиках вычислительных систем и глобальных моделей среднесрочного прогноза погоды, применяемых по состоянию на 01 января 2015 года в мире по данным Рабочей группы по численному экспериментированию Всемирной метеорологической организации (WGNE WMO) [4].

Подавляющее большинство моделей (исключения – немецкая, бразильская, индийская и одна из российских моделей) используют полулагранжево представление адвекции и полуневяную схему интегрирования по времени. Спектральные модели имеют букву Т в обозначении разрешения, последующие цифры означают количество сферических гармоник. Цифры после буквы L обозначают количество

вертикальных уровней. Отметим, что за 5 последних лет в мире стало на 2 спектральные модели меньше (Австралия, Корея).

Таблица 1.1 – Характеристики вычислительных систем и глобальных моделей среднесрочного прогноза погоды по состоянию на 01 января 2015 года [4].

Forecast Centre (Country)	Computer (Sustained in TFlop/s)	High resolution Model (FC Range in days)
ECMWF (Europe)	Cray XC30, 3400 nodes x 2 (2 x ~140)	T _L 1279 L137 (10)
Met Office (UK)	IBM P775 480+576+160 nodes (~50)	~17 km L70 (6)
Météo France (France)	BULL Intel Ivy Br. (1008 + 990 nodes) (2x24)	T _L 798(C2.4) L70 (4)
DWD (Germany)	Cray XC30; 2x17.648 cores (2x25)	13 km L90 (7.5)
HMC (Russia)	RSC Tornado, 96 nodes x 16 cores, SGI ICE-X, 36 nodes x 20 cores, (4.5, 4.3)	0.72°x0.9° L28 (10) T339 L31 (10)
NCEP (USA)	IBM p655 (Cluster 1600) (2x1.9)	T878 L64 (7.5) T190 L64 (16)
Navy/FNMOC/NRL (USA)	Dell Xeon (450+90+120 nodes)	T359 L50 7,5
CMC (Canada)	IBM P7, 2 x 256 nodes x 32 cores (2x15)	0.35°x0.23° L80 (10)
CPTEC/INPE (Brazil)	CRAY XT6 30528 cores (16.6)	T299 L64 (7); T126 L28 Coupled (30)
JMA (Japan)	Hitachi SR16000-M1, 2*432 nodes (2x30)	TL959 L100 (11)
CMA (China)	IBM p7, 560 nodes x 32 cores	TL639 L60 (10)
KMA (Korea)	Cray XE6 90240 cores (2x13)	~25km L70 (12)
NCMRWF (India)	IBM P6 - 1280 processor (2.4)	T574 L64 (10)
BoM (Australia)	Oracle Blade 6000, 576 nodes (12 cores per node) (5)	40km, L70 (10)

Примечание: T – спектральная эйлерова модель с квадратичной сеткой; TL – спектральная полулагранжева модель с линейной сеткой; TCo – спектральная полулагранжева модель с кубической сеткой; последующие цифры указывают на количество гармоник. Цифры после буквы L – количество вертикальных уровней.

Из таблицы видно, что всего в мире существует 15 глобальных моделей, однако лишь 8 из них являются самостоятельно разработанными. Например, Корея (KMA) и Австралия (BoM) используют модель английской метеослужбы, Индия и Бразилия используют американскую модель GFS, разработанную в NCEP. Китай (CMA) пока использует раннюю версию модели Европейского центра среднесрочных прогнозов, внедрение модели собственной разработки планируется в 2016 году. Небольшое количество глобальных моделей в мире связано с большими усилиями, необходимыми для их разработки и развития, а также с большими вычислительными ресурсами, необходимыми для их эксплуатации.

Несомненным лидером среди глобальных моделей среднесрочного прогноза погоды является модель Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП – ECMWF). Эта модель – спектральная полулагранжева с двухслойной полуявной схемой интегрирования по времени. В [5] приводятся оценки эффективности этой модели: если бы она осталась эйлеровой полуявной моделью с трехслойной схемой по времени, то прогноз на одни сутки выполнялся бы на той же вычислительной системе в десять раз медленнее (коэффициент 5 – за счет большого шага по времени в полулагранжевом методе, коэффициент 2 – за счет применения двухслойной схемы по времени вместо трехслойной схемы «чехарда»). В настоящее время эта модель имеет разрешение TL1279 (примерно 16 км), вертикальное – 137 уровень. (TL означает «линейную» сетку, ее число узлов по долготе связано со спектральным усечением N как $2N + 1$. Ее применение возможно только в сочетании с полулагранжевой адвекцией [5]).

В настоящее время оперативная модель использует 1536 процессорных ядер. Эффективность использования этого количества ядер моделью составляет более 80 %. Такая высокая эффективность достигнута в том числе за счет сочетания технологий распараллеливания MPI и OpenMP (в оперативном режиме применяется 16 нитей OpenMP) [6].

В американском Национальном центре прогнозов окружающей среды (NCEP) применяется спектральная полулагранжева модель GFS с полунявной схемой интегрирования по времени [7]. В настоящее время разрешение этой модели составляет примерно 13 км (T878), 64 вертикальных уровня.

Более подробные описания глобальных прогностических моделей ведущих метеослужб приведены в [8] для модели Англии, в [9] для Канады, в [10] для Франции и в [11, 12] для Германии.

Анализ левого столбца табл. 1 говорит о том, что все прогностические центры применяют массивно-параллельные системы. Часто эти системы состоят из двух одинаковых частей по соображениям надежности. Интересно отметить, что в таблице 1.1 приведены не пиковые производительности соответствующих вычислительных систем, а реально достигнутые.

Для измерений используется одновременный запуск нескольких копий моделей (применяемый в оперативной практике для расчета ансамблевого вероятностного прогноза). Как видно, реально достигнутые показатели производительности не кодах моделей прогнозы погоды составляет лишь несколько процентов от пиковой. Видно, что ведущие прогностические центры используют в оперативной работе несколько тысяч процессорных ядер для одной задачи. Таких задач, решаемых одновременно, на самом деле больше – все центры также рассчитывают оперативный вероятностный ансамблевый среднесрочный и долгосрочные прогнозы. В итоге, масштабируемость программного комплекса современной модели прогноза погоды должна быть никак не хуже нескольких тысяч ядер [12].

В рамках программы сравнения совместных моделей климатической системы CMIP3 модели атмосферы имели разрешение около 250 км, а за последующие семь лет среднее разрешение моделей в проекте CMIP5 увеличилось до 150 км в атмосфере. Это связано, во-первых, с тем, что модели атмосферы здесь являются лишь частью гораздо более сложной (в том числе и вычислительно) модели Земной системы, во-вторых, с

необходимостью массовых расчетов с данными моделями (различные сценарии и протоколы экспериментов). В экспериментах с моделью атмосферы при некоторых постановках численных экспериментов эти модели применялись при горизонтальном разрешении до $0,25^\circ$ [2, 3].

Климатическая модель атмосферы Национального центра атмосферных исследований (NCAR) CAM5 является составной частью совместной модели Земной системы CESM1. Модель является свободно распространяемой. Подробное описание модели приведено в [13]. Модель включает в себя 4 различных блока решения уравнений динамики атмосферы: конечно-объемный эйлеров по горизонтали, лагранжев по вертикали на «обычной» широтно-долготной сетке; блок с использованием спектральных элементов на кубической сфере, а также разработанные много лет назад спектральный эйлеров и конечно-разностный полулагранжев. Спектральный блок масштабируется лишь на нескольких сотнях процессоров, конечно-объемный блок масштабируется на несколько тысяч, а блок на основе метода спектральных элементов масштабируется лучше всех [14], вплоть до многих десятков тысяч процессоров. Именно с этим блоком ведутся опытные расчеты изменений климата с шагом сетки по горизонтали порядка 25 км.

Модель включает в себя блок атмосферной химии, учитывающий основные процессы, связанные с малыми газовыми составляющими и аэрозолями, блок описания микрофизических процессов в облаках.

Климатическая модель атмосферы Лаборатории геофизической гидродинамики США (GFDL) AM3 является компонентой модели Земной системы этой лаборатории. Ее подробное описание приведено в [15]. Динамический блок этой модели использует сетку кубической сферы, как и модель NCAR. Достигнуто хорошее масштабирование кода модели на массивно-параллельных вычислительных системах. Модель включает детальное описание переноса и химических реакций между 85 малыми газовыми составляющими, а также описание 20 компонент аэрозолей. Важной особенностью этой модели является учет взаимодействий между

аэрозолями и облаками. В частности, аэрозоли учитываются в процессе образования капель в облаке.

2 Мезомасштабные модели численного прогноза погоды

До 90-х годов двадцатого века термин «региональная модель» был применим в основном к численным моделям, область расчета которых занимала материк или крупную часть материка с окружающими акваториями океанов. Шаг сетки при этом был не больше 50 км. Изначально данные модели создавались для воспроизведения мезометеорологических процессов, которые исходя из классификации Орланского, имеют горизонтальные масштабы от 2 до 2000 км. В следствие этого горизонтальное разрешение таких моделей составляло 10 км и менее (а также и до 1 км в современных моделях). Следовательно, территория, на которой производился расчет метеорологических процессов в мезомасштабных моделях представляла собой квадрат со стороной несколько сотен километров.

Мезомасштабные и региональные модели атмосферы по охвату территории и пространственному разрешению занимают промежуточное положение между МОЦА и моделями пограничного слоя атмосферы (МПСА). Создание таких моделей было продиктовано невозможностью воспроизведения мезомасштабных структур метеорологических полей в рамках МОЦА. Помимо этого мезомасштабные вариации распределения температуры, облачности, осадков и ряда других метеорологических величин имеют принципиальное значение для многих задач, используемых в частности для прогноза погоды в заданном пункте.

В отличие от глобальных моделей, региональные и мезомасштабные модели требуют задания краевых условий на горизонтальных границах. В задачах прогноза погоды и климата единственным способом задания таких условий является использование прогностических полей крупномасштабных моделей. При этом область расчета мезомасштабных и региональных моделей занимает несколько ячеек конечно-разностной сетки глобальной модели. Следовательно, региональное и мезомасштабное моделирование являются инструментом решения проблемы масштабирования, которая

неизбежно появляется в задачах прогноза погоды или климата. Помимо использования гидродинамического моделирования, эта задача может быть решена с привлечением интерполяции, на основе простых физических или статистических моделей. Основное преимущество данных методов является их относительной простотой, но с точки зрения точности восстановления мезомасштабной структуры метеорологических полей, гидродинамическое моделирование является наиболее актуальным.

Также региональные и мезомасштабные модели используют для расчета переноса загрязняющих веществ. При вычислении полей концентраций газообразных и аэрозольных загрязнителей вокруг проектируемых предприятий и других источников выбросов используют сценарные расчеты. Для решения уже наблюдавшихся повышенных концентраций могут использоваться методы как прямого, так и обратного моделирования. В обоих случаях используются мезомасштабные и региональные модели совместно с моделями переноса примесей, а синоптическая ситуация, которая способствовала превышению ПДК, задается полями реанализа.

Региональные и мезомасштабные модели используются также и для решения ряда фундаментальных задач. Одной из таких задач, специфических для геофизической гидродинамики, является задача взаимодействия атмосферных движений различных масштабов. Движения синоптического масштаба и мезомасштаба взаимосвязаны: синоптический поток определяет интенсивность мезомасштабных циркуляций, а мезомасштабные циркуляции в свою очередь вызывают дополнительное перемешивание нижней тропосферы, и, как следствие, соответствующей эффект трения крупномасштабного потока о подстилающую поверхность. Мезомасштабные потоки тепла, влаги и количества движения могут быть сопоставимы по величине с турбулентными потоками; при этом турбулентные потоки параметризованы во всех современных МОЦА, а методы параметризации мезомасштабных потоков находятся в стадии разработки и отладки. Не важно в какой форме представляются мезомасштабные потоки через

значения метеовеличин в узлах крупномасштабной сетки, единственным методом верификации этой зависимости является мезомасштабное моделирование, так как оно позволяет явно вычислить эти потоки.

В последнее десятилетие активно развиваются информационно-вычислительные системы, совмещающие в себе возможности регионального и мезомасштабного моделирования на основе технологии вложенных сеток. В этой технологии существует так называемая материнская область, наиболее крупная по охвату территории, а внутри нее организуется расчет в областях меньшего размера, но с большим пространственным разрешением. Данная технология позволяет детализировать прогноз более подробно по территории. В ведущих центрах прогноза погоды, таких как Реддинг, Оффенбах. Вашингтон и т.д. региональные модели уже имеют горизонтальное разрешение менее 10 км.

Следовательно, принципиальных различий между региональными и мезомасштабными моделями уже нет, поскольку часть движений мезомасштаба можно воспроизводить в рамках региональных моделей.

2.1 Мезомасштабные модели используемые в Западно-Сибирском гидрометцентре

Модель COSMO

В сентябре 2009 г. Росгидромет стал полноправным членом метеорологического консорциума COSMO (COnsortiumforSmall-scaleMOdeling). Цель и обязанность метеослужб — членов консорциума (Германии, Греции, Италии, Польши, России, Румынии и Швейцарии) — совместно развивать и поддерживать общую для ограниченной территории оперативную совместную модель COSMO негидростатической модели атмосферы и многослойной модели деятельного слоя суши [16]. Метеослужбы — члены консорциума COSMO — для задания необходимых начальных и боковых граничных условий для прогноза по ограниченной

территории получают в оперативном режиме прогностические поля системы ICON (с 20 января 2015 г.) глобального моделирования Метеорологической службы Германии (Германия, Польша, Россия и Румыния) и системы IFS Европейского центра среднесрочных прогнозов (Греция, Италия и Швейцария). Оперативная негидростатическая модель ICON в настоящее время имеет 90 уровней по вертикали (до 75 км) и шаг треугольной сетки по горизонтали 13 км [17]. В соответствии с правилами консорциума версия Росгидромета модели COSMO имеет название COSMO-Ru.

Уже на первом этапе система COSMO-Ru показала достаточно высокий уровень успешности и информативности прогнозирования, особенно метеорологических величин в приземном слое атмосферы, несмотря на то, что была использована небольшая сетка, имеющая $168 \times 300 \times 40$ узлов с шагом $h = 14$ км (168 узлов по параллели, 300 — по меридиану и 40 — число уровней) [18, 19]. Ввод в эксплуатацию в 2009 г. вычислительной системы SGI Altix 4700 позволил уменьшить шаг сетки, увеличить число узлов и создать оперативную систему COSMO-Ru7 с сеткой $700 \times 620 \times 40$ узлов с шагом $h = 7$ км. Эта сетка включает не только европейскую территорию России, но и Урал, часть Западной Сибири и почти всю Европу (за исключением ее самой западной части: Великобритании, Гренландии, Ирландии, Исландии, Испании, Португалии и Франции). 11 апреля 2011 г. Центральная методическая комиссия Росгидромета, рассмотрев оперативные испытания системы в Гидрометцентре России для теплого (с 1 мая по 30 сентября 2010 г.) и холодного (с 1 октября 2010 г. по 25 марта 2011 г.) периодов [20] приняла решение рекомендовать Гидрометцентру России внедрить в оперативную практику в качестве базовой модель COSMO-Ru7 для численного прогнозирования следующих метеорологических величин (полей и метеограмм): осадков, температуры и влажности воздуха, фонового приземного ветра, подготовить технологию распространения прогностической продукции модели COSMO-Ru7 в прогностические подразделения УГМС/ЦГМС европейской территории России и

рекомендовать оперативно-прогностическим подразделениям Росгидромета использовать в практической работе выходную продукцию мезомасштабной модели COSMO-Ru7. К настоящему времени в вычислительной системе Росгидромета в Москве и Новосибирске для слоя атмосферы толщиной 23 км и деятельного слоя суши толщиной 7 м функционирует разработанная технологическая линия системы COSMO-Ru для следующих территорий (рисунок 2.1):

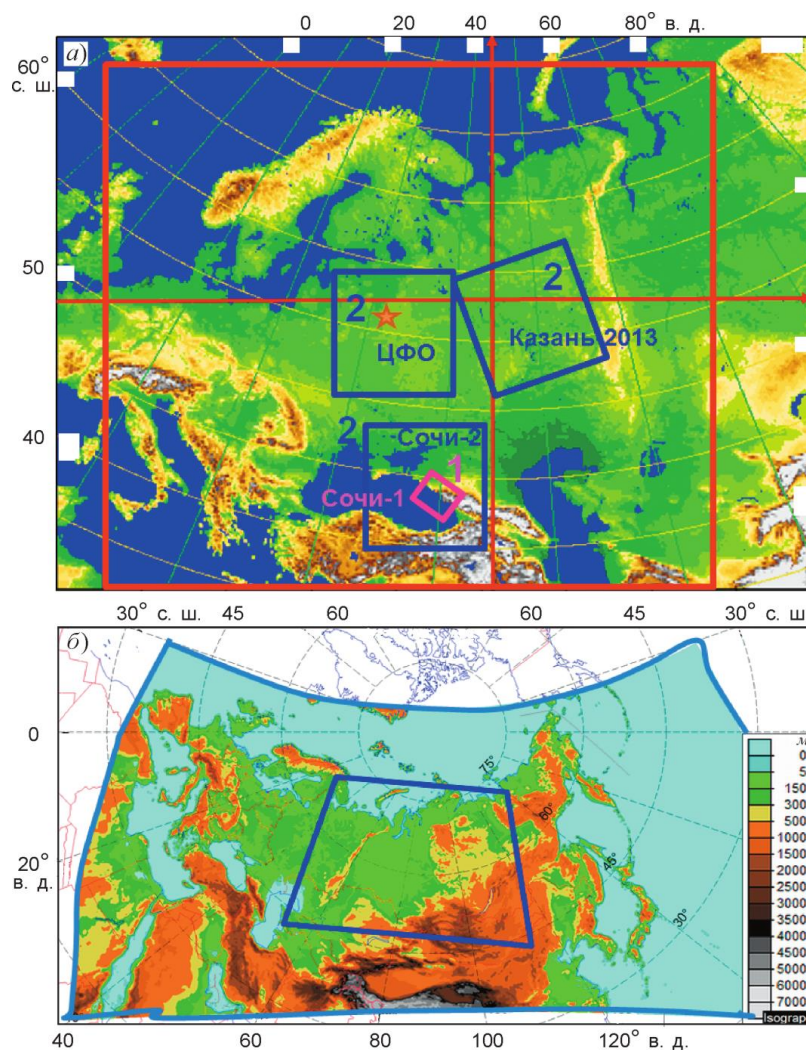


Рисунок 2.1 - Области интегрирования системы COSMO-Ru: а) COSMO-Ru1 (Сочи1), COSMO-Ru2 (ЦФО, Сочи-2 и Казань-2013) и COSMO-Ru7 (граница выделена красным цветом); б) COSMO-RuENA (вся область) и COSMO-RuSib (внутренняя область)

— Центральной и Восточной Европы, Урала и части Западной Сибири (с запада на восток от Франции до Новосибирской области и с севера на юг от

Новой Земли до Ливана), сетка $700 \times 620 \times 40$ с шагом $h = 7$ км, шаг по времени $\Delta t = 66$ с, прогноз на 78 ч, COSMO-Ru7;

— Сибири, Урала и восточной части европейской части России, сетка $360 \times 250 \times 40$ с $h = 14$ км, $\Delta t = 80$ с, прогноз на 78 ч (прогноз проводится только в Новосибирске), COSMO-RuSib14; — часть Южного федерального округа, прилегающая к Черному и Азовскому морям, сетка $420 \times 470 \times 50$ с $h = 2,2$ км, $\Delta t = 15$ с, прогноз на 42 ч, COSMO-RuSFO2; — Центрального федерального округа, сетка $420 \times 470 \times 50$ с $h = 2,2$ км, $\Delta t = 15$ с, прогноз на 24 ч, COSMO-RuCFO2; — Европы и северной части Азии, сетка $1000 \times 500 \times 40$ с $h = 13,2$ км, $\Delta t = 80$ с, прогноз на 168 ч, COSMO-RuENA13 [20].

Результаты численного прогноза погоды с помощью системы COSMO-Ru получают ежедневно 4 раза в сутки по начальным данным 0, 6, 12 и 18 ч ВСВ, их подготавливают и пересылают пользователям на серверы в виде файлов в коде GRIB (в разных системах вертикальных координат и разного состава в зависимости от запросов пользователей), в виде метеорологических карт (порядка 3000 карт в сутки) и метеограмм (примерно 1000 в сутки) пересылают по электронной почте и частично выкладывают на сайтах Росгидромета, Гидрометцентра России и СибНИГМИ. Численные прогнозы COSMO-Ru проводятся параллельно прогнозам по модели ICON со сдвигом примерно 10 мин.

В настоящее время при параллельном использовании 288 ядер суперкомпьютера SGI ICE-X оперативные прогнозы на 78 ч для сетки $700 \times 620 \times 40$ с шагом $h = 7$ км требуют примерно 50 мин процессорного времени. Рассылка всех карт, метеограмм и файлов для двух первых территорий заканчивается через 3 ч 45 мин после срока наблюдения [20].

Модель ПЛАВ

Полулагранжев метод представления адвекции, применяемый в большинстве глобальных моделей среднесрочного прогноза погоды,

позволяет использовать в модели атмосферы шаг по времени в несколько раз больший, чем шаг, определяемый условием Куранта.

В настоящее время подавляющее большинство глобальных гидродинамических моделей прогноза погоды основано на полулагранжевом подходе.

Начало разработки глобальной полулагранжевой модели ПЛАВ относится к 1995 году, когда появилась статья Рэя Бэйтса и Йонга Ли [21], посвященная разработке полулагранжевой двумерной модели мелкой воды на сфере, на основе уравнения потенциального вихря. Тогда М.А. Толстых была предложена альтернативная формулировка модели мелкой воды на сфере, применяющая компактные разностные схемы четвертого порядка [22], которая обеспечивала более высокую точность и вычислительную эффективность. Затем стало ясно, что разработать на основе уравнения потенциального вихря эффективную трехмерную модель невозможно, и в качестве базового уравнения было выбрано уравнение для вертикальной компоненты абсолютной завихренности.

Изначально главной задачей при разработке модели ставилась максимальная точность при минимальных вычислительных затратах, поэтому желательным казалось применение несмещенной по горизонтали сетки (или сетки A согласно Аракаве [23]), позволяющей избежать вычисления нескольких траекторий для каждой ячейки сетки в полулагранжевой модели, а также применение двумерных операторов осреднения. Однако, как известно из классической работы [23], на сетке A в традиционной формулировке уравнений атмосферы плохо описываются процессы распространения инерционно-гравитационных волн. Применение пары «вертикальный компонент абсолютной завихренности — горизонтальная дивергенция» в качестве прогностических переменных позволяет использовать в конечно-разностной полулагранжевой модели несмещенную сетку, обеспечив при этом такие же характеристики

распространения гравитационных волн, как на сетках В и С и несколько лучшие для инерционно-гравитационных волн и волн Россби [24, 25].

Существенным элементом для модели атмосферы, основанной на переменных «вертикальный компонент абсолютной завихренности — горизонтальная дивергенция» является быстрый и точный алгоритм восстановления компонент горизонтальной скорости ветра, описанный в [26]. В этой работе также было показано, что двумерная на сфере версия модели ПЛАВ на стандартном для моделей мелкой воды наборе тестов на наиболее сложных тестах достигла уровня ошибок, характерного для спектральной модели эквивалентного разрешения. В [27] была представлена трехмерная версия модели, которая тогда имела разрешение $1,5^\circ$ по долготе и широте, 20 уровней по вертикали. В дальнейшем разрешение модели повышалось, и стала необходимой эффективная параллельная реализация модели, представленная в [28, 29]. Параллельное ускорение тестовой версии модели с разрешением $0,225 \times 0,18^\circ$ по долготе и широте и 28 уровнями по вертикали, достигнуто на вычислительной системе SGI Altix 4700.

Таким образом, в итоге была реализована вычислительно эффективная полулагранжева глобальная конечно-разностная модель общей циркуляции атмосферы, получившая имя «ПЛАВ» (от полулагранжева, основанная на уравнении Абсолютного Вихря, в английском варианте SL-AV). Особенности блока решения уравнений динамики атмосферы модели ПЛАВ являются применение конечных разностей четвертого порядка на несмещенной сетке для аппроксимации не адвективных слагаемых уравнений и использование вертикальной компоненты абсолютного вихря и дивергенции в качестве прогностических переменных.

Версия полулагранжевой модели атмосферы ПЛАВ с разрешением $0,9$ градуса по долготе, $0,72^\circ$ по широте и 28 уровнями по вертикали успешно прошла оперативные испытания и внедрена в Гидрометцентре России.

По мере накопления опыта, модель ПЛАВ подвергалась различным усовершенствованиям. Одним из отмеченных недостатков на начальном

этапе развития модели являлась заметная отрицательная средняя ошибка геопотенциала в верхней стратосфере, особенно в приполярных областях Южного полушария (на уровнях 20—30 гПа).

Известно [30], что возможной причиной такого смещения является недостаточная точность расчета геопотенциала, который получается, как и во всех гидростатических моделях атмосферы, путем интегрирования уравнения гидростатики. В Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) для расчета интеграла по вертикали была использована конечно-элементная схема вместо разностной формулы средней точки и показано заметное снижение отрицательной средней ошибки в стратосфере.

Конечно-элементная дискретизация по вертикали, описанная в [30], разработана для модели с полулагранжевой адвекцией. В качестве базисных функций применяются кусочно-линейные функции или В-сплайны. В комментариях [31] к статье [32] доказано, что без учета граничных условий указанная конечно-элементная схема интегрирования при использовании линейных базисных функций на равномерной сетке имеет четвертый порядок точности.

В связи с более высокой точностью, конечно-элементная схема интегрирования по вертикали была применена в глобальной полулагранжевой модели прогноза погоды ПЛАВ к уравнениям гидростатики и неразрывности. В качестве базисных функций были выбраны кусочно-линейные функции. Также была исследована возможность применения В-сплайнов в качестве базисных функций, однако была выявлена сильная чувствительность решения в зависимости от расположения модельных уровней по вертикали, что входит в противоречие с небольшим количеством уровней по вертикали в модели.

Для оценки изменений в качестве прогнозов погоды при использовании конечно-элементной схемы интегрирования по вертикали были рассчитаны две серии из 30 прогнозов сроком на 120 часов для августа 2005 года с использовавшейся ранее конечно-разностной схемой интегрирования и с

конечно-элементной схемой. В качестве начальных данных использовались анализы, полученные в результате работы системы усвоения данных на базе данной модели [32].

С момента практической реализации в 2003 году версии модели ПЛАВ с горизонтальным разрешением $0,9 \times 0,72^\circ$, 28 уровней по вертикали, она постоянно развивалась: усовершенствовались численные алгоритмы модели, внедрялись более совершенные параметризации процессов подсеточного масштаба, произошел переход на автономную систему подготовки начальных данных для модели.

В настоящее время ведутся работы по настройке следующей версии модели ПЛАВ, предназначенной для среднесрочного прогноза. Эта версия имеет горизонтальное разрешение $0,45^\circ$ по долготе, $0,37^\circ$ по широте, 50 уровней по вертикали.

Модель WRF

Прогноз погоды на современном уровне возможен только с использованием численных моделей, при этом естественная область прогноза погоды – весь земной шар.

Одной из самых широко распространенных региональных/мезомасштабных моделей является свободно распространяемая модель WRF ARW. Эта модель широко применяется и для территории России – как дополнительный метод прогноза погоды (в Гидрометцентре России, в СибНИГМИ, ДВНИГМИ), при исследовании атмосферных процессов [33], в качестве инструмента в работах по усвоению данных [34], при рассмотрении методик оценки прогнозов с высоким пространственным разрешением [35]. Прогнозы WRF-ARW используются и при повышении детализации крупномасштабных данных (т.е. восстановлению с использованием модели метеорологических полей с более высоким пространственным разрешением, чем у исходных данных, или же восстановление параметров, отсутствующих в исходных данных), к примеру – при решении задач переноса примесей [36, 37].

Модель WRF-ARW является одним из двух вариантов WRF, распространяемых в едином дистрибутиве. ARW расшифровывается как Advanced Research WRF, WRF – Weather Research and Forecasting. WRF-ARW развивается Национальным центром атмосферных исследований США (NCAR) совместно с рядом других научных организаций США. Модель основана на негидростатических уравнениях для сжимаемой атмосферы. WRF-ARW, по всей видимости, является одной из самых распространенных метеорологических моделей, используемой в исследовательских целях.

В 2010 году, после установки в ЗС УГМС (СибНИГМИ) и в ГВЦ Росгидромета вычислительных систем SGI Altix 4700 (в ЗС УГМС со 128, в ГВЦ Росгидромета более чем с 1000 процессорных ядер), для счета WRF-ARW (далее просто WRF) была выбрана расчетная область, охватывающая практически всю территорию России с горизонтальным разрешением 14 км. Для распространяемой с августа 2009 года WRF 3.1.1 было проведено тестирование различных наборов динамических опций и параметризаций подсеточных процессов. При выборе оптимальной конфигурации рассматривалось качество прогнозов с заблаговременностью до 72 часов от сроков 00 и 12 ВСВ с 10 по 31 января и с 12 июня по 4 июля 2008 года. Рассматривались прогнозы для двух областей: Европейской территории России (45-65 с.ш., 27-57 в.д.) и Западной Сибири (50-65 с.ш., 70-100 в.д.) по данным для января и июня/июля 2008 года. Источниками начальных данных и граничных условий служили свободно распространяемые глобальные анализы и прогнозы NCEP.

Лучшим набором опций для динамической части модели оказался предложенный в [38] для Polar WRF (версия WRF, оптимизированная для работы в высоких широтах). В частности, используется подавление вертикальных движений в верхних 7 км (w-Rayleighdumpling).

В связи с работами по усвоению данных о состоянии атмосферы с использованием пакета WRF Data Assimilation [39], ведущимися совместно в Гидрометцентре России и СибНИГМИ, начались расчеты на основе новой

версии модели WRF 3.4.1 – для обеспечения полной совместимости с последними доступными версиями WRF Data Assimilation. Была выбрана расчетная область, охватывающая район в Западной Сибири (50-65 с.ш., 70-100 в.д.) с пространственным разрешением 9 км.

В исследовательском режиме проводился счет WRF ARW 3.4.1 с использованием вложения во внешнюю область счета с горизонтальным шагом 9 км области с шагом 3 км. При счете с 3-х километровым разрешением используется прямое воспроизведение моделью конвекции, ансамблевая параметризация конвекции Грелла (так называемая схема «Grell 3D» – развитие [40, 41], предназначенная для использования на подобных «переходных» масштабах, в проводимых экспериментах приводила к неустойчивости счета.

Прогнозы WRF считаются на 48 часов по начальным данным от срока 12 ВСВ. В оперативном режиме продолжает считаться модель WRF 3.1.1, по-прежнему обеспечивающая лучшие оценки прогноза. Подготавливаемая продукция оперативно поступает в ГУ «Новосибирский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с функциями регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды» и используется метеорологами центра при составлении официальных прогнозов.

Использование при счете региональных прогнозов погоды информации, поступающей из зарубежных прогностических центров, не всегда может считаться достаточно надежной технологией. В связи с этим в Гидрометцентре России еще в 2007 году была проведена работа по переводу WRF на использование граничных условий из глобальной спектральной модели атмосферы Гидрометцентра России T169 [23]. Замещение данных NCEP на стадии замены файлов, аналогичных выходным файлам программы metgrid (рисунок 2.1).

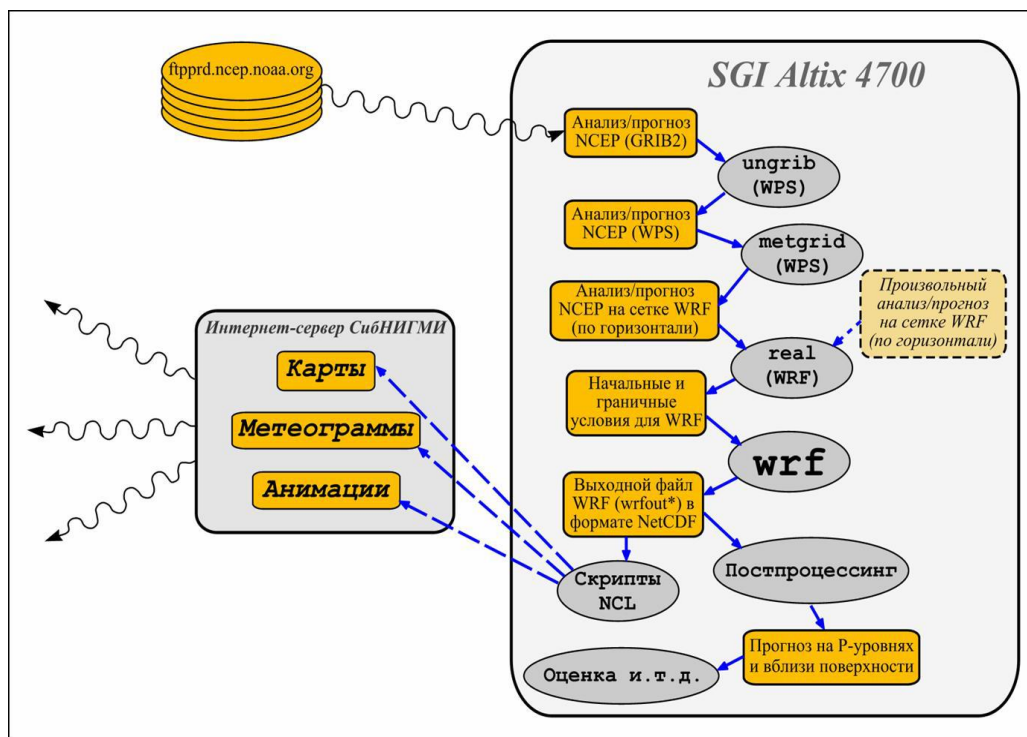


Рисунок 2.1 – Схема работы комплекса для оперативного прогноза погоды в Сибирском регионе с использованием WRF-ARW.

Однако при отсутствии в Гидрометцентре России автономной системы усвоения данных о состоянии счет глобальных моделей ПЛАВ [42,43], и T169 требует поступления извне глобальных прогнозов, используемых в качестве первого приближения при подготовке оперативного анализа.

2.2 Материалы и методы исследования оправдываемости результатов мезомасштабного моделирования

В настоящей работе проводился анализ и оценка оправдываемости метеорологических полей (температуры, ветра, осадков) рассчитанных по модели COSMO над территорией Новосибирской области в период местного циклогенеза и без него.

Информационной базой для исследования оправдываемости послужили прогностические данные модели COSMO с 2015 по 2017 гг. за два расчетных

срока (00 и 12 ВСВ). Данные отбирались с учетом прохождения или возникновения местных циклонов над территорией прогноза.

Для сравнения также были отобраны фактические данные метеорологических наблюдений за данный период.

2.3 Оправдываемость расчетов численных методов и моделей над территорией Западной Сибири

В оперативной работе отдела метеорологических прогнозов погоды ФГБУ «Западно-Сибирского УГМС» используются следующие модели и методы прогноза метеопараметров и явлений погоды:

1) Автоматизированная технология прогноза гроз на 1-3 сутки (12-72 часов) на базе модельной продукции COSMO и GFS (NCEP). Метод является основным, расчеты проводятся с мая по сентябрь.

На базе 4-летних архивов наблюдений о грозах на территории Урало-Сибирского региона и прогностических сеточных данных моделей COSMO-RU_Sib и NCEP(GFS) разработаны алгоритмы и универсальная методика построения прогностических решающих правил для распознавания гроз с различной пространственно-временной детальностью и заблаговременностью. Разработанная методология применена для расчетов вариантов прогностических решающих правил различной детальности для каждой из 430 метеостанций Урало-Сибирского региона. Программное обеспечение получения прогнозов на базе полученных решений встроено в оперативную технологическую линию статистического пост – процессинга в ЗСРИБЦ. В статье представлены результаты оперативных испытаний данной методологии на территории ответственности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» [50].

Исходя из отчета [44, 48] общая оправдываемость прогнозов гроз в целом по территории УГМС составила 78-79 %, прогнозов наличия гроз 25-32 %, предупрежденность явления составила от 46 до 59 %.

Технология расчета прогнозов гроз позволяет оценить явление, как в конкретной точке (на станции), так и в радиусе 100 км, что позволяет более детально анализировать прогноз конвективных явлений.

2) Прогноз зимних осадков по полусуткам, пентады для административных районов Новосибирской области (М.Я. Здерева, СибНИГМИ). Метод является основным периодов с января по март и с ноября по декабрь.

Оперативные испытания метода проводились в Гидрометцентре ГУ Новосибирский ЦГМС-Р в период ноябрь 2005 г. - март 2006 г. в сравнении с оперативными прогнозами синоптиков. Оценка успешности указанных прогнозов осадков выполнялась на 29 станциях Новосибирской области в соответствии с действующими Наставлением по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД 52.88. 629.-2002 и Методическими указаниями РД 52.27.284 – 91. Для оценки использовались ежедневные метеорологические сведения о количестве осадков на станциях. Оценка оперативных прогнозов осуществлялась вручную, методических прогнозов на 1-5 суток - в автоматическом режиме. Всего за период испытания на первые сутки было рассчитано по 132 прогноза осадков для каждой станции Новосибирской области.

Так как испытываемый метод дает детализированный по территории прогноз, то был выполнен анализ оправдываемости прогнозов для каждой станции. У нового метода на всех станциях оправдываемость прогнозов на ночь превышает 70% и почти у половины станций она колеблется в пределах от 80% до 85%, чего не наблюдалось у оперативных прогнозов. Прогнозы осадков по станциям на день у нового метода оказались менее удачны. Только для 27% станций оправдываемость составляет 80-81%, однако в целом преимущество методических прогнозов над синоптическими прогнозами также очевидно (79-80% против 67-68%).

Отмечена высокая оправдываемость прогнозов осадков на следующих станциях: на ночь - Венгерово (84%), Усть-Тарка (85%), Кочки (85%), Коченево (84%), Чулым (84%); на день - Барабинск (80%), Татарск (80%), Венгерово (81%), Чистоозерное (80%), Довольное (81%), Болотное (81%), Чулым (80%). Оправдываемость прогнозов ночных осадков по новому методу в Новосибирске составила 82%, дневных - 74%, что также выше, чем в оперативных прогнозах (соответственно 72% и 69%).

В среднем за 5 суток оправдываемость прогнозов осадков в целом по Новосибирской области на ночь составила 78%, на день - 77%. С увеличением заблаговременности успешность прогнозов осадков, как на ночь, так и на день понижается, хотя и незначительно: ночью от 80% на первые сутки до 77% на пятые, днем от 79% на первые сутки до 74% на пятые. Оправдываемость прогноза наличия осадков в среднем за 5 суток составила для ночи 59%, днем несколько выше - 66% [44]. В этом виде прогнозов, как на ночь, так и на день следует отметить большие колебания оправдываемости прогнозов осадков (от 35 до 73%) в зависимости от заблаговременности. Подобная ситуация отмечается и в прогнозах отсутствия осадков на ночь и только в прогнозах отсутствия осадков на день прослеживается зависимость от заблаговременности. В первые и вторые сутки прогнозы имеют оправдываемость 91%, а далее происходит понижение оправдываемости только до 88%. Рассмотрение полученных результатов по месяцам показало, что более высокая оправдываемость прогнозов осадков оказалась в декабре 2005 г. для любой заблаговременности и составила для ночи 82,7-84,7%, для дня - 79,7-86,4%. Менее удачными (68,4-76%) были прогнозы в январе 2006 г.

Данный метод позволяет составлять более детализированный прогноз осадков по территории Новосибирской области с заблаговременностью от 1 до 5 суток. [45]

3) Технология расчета прогноза осадков (WSIBMZ) (М.Я. Здерова, СибНИГМИ), метод является вспомогательным вспомогательный

В среднем по области точность прогнозов осадков выше во все заблаговременности: около 75% на первые сутки и около 70% -на пятые сутки. В зимние месяцы в первые-четвертые сутки оправдываемость количества осадков в январе доходит до 89-98%, в пятые – 80-87%, прогноз жидких осадков менее точен-70-77%. Точность прогнозов количества осадков на 68% станций Новосибирской области составила выше 80%. [46]

4) Суточные и полусуточные суммы осадков на 1-5 суток, пентаду (И.Г. Храмова, И.П. Прокопьева, СибНИГМИ) вспомогательный

5) Полусуточные суммы осадков заблаговременностью до 48 часов с детализацией по районам юго-востока Западной Сибири (В.М. Лосев, ГМЦ РФ), выступает в роли вспомогательного метода.

Прогноз рассчитывается путем интегрирования по времени уравнений гидротермодинамики. Модель учитывает рельеф местности, фазовые переходы влаги, радиационные потоки, взаимодействие с подстилающей поверхностью. Начальные и граничные условия берутся из глобального прогноза большей заблаговременности.

6) Технология расчета прогноза температуры воздуха (WSIBMZ) (автор М.Я. Здерева, СибНИГМИ). Вспомогательный метод, рассчитывается для января-апреля, октября-декабря.

7) Технология расчета прогноза температуры воздуха на 1-2 сутки на базе комплексирования выходной продукции различных моделей «COMPLEX» (автор М.Я. Здерева, СибНИГМИ), метод является основным для мая-сентября [47].

Формирование прогнозов температуры воздуха по срокам производилось ежедневно в оперативном режиме на серверах ФГБУ «СибНИГМИ» по сроку 00 ВСВ. Автором метода использовались ежедневные выпуски прогностических полей моделей COSMO-RUsib, ПЛАВ, получаемые в ЗСРИВЦ и глобальной модели ExeterUKMO[47].

Оправдываемость прогнозов по территории Новосибирской области в ночные часы за период май-сентябрь составила 89,4 % на первые сутки, к

третьим суткам оправдываемость понизилась до 82,2 %. Максимальная температура для Новосибирской области имеет оправдываемость 85-90,2 % [47].

8) Экстремальные значения температуры на 1-3 для 26 пунктов территории юго-востока Западной Сибири (автор П.П. Васильев ГМЦ России) Является основным, в течение года.

9) Прогноз заморозков по юго-востоку Западной Сибири на 1-5 сутки (авторы И.Г. Храмцова, СибНИГМИ, Г.А. Шустова ЗС РИВЦ) Является консультативным методом, рассчитывается для мая-сентября.

10) Прогноз заморозков для административных районов Новосибирской области на 1-5 сутки (автор М.Я. Здерева, СибНИГМИ). Рассчитывается для периода с мая по сентябрь, является основным.

11) Прогноз сильного ветра (25 м/с и более) на 1-3 сутки по территории ФГБУ ЗС УГМС (И.П. Прокопьева, М.Я. Здерева, СибНИГМИ). Применим для периодов январь-март, октябрь-декабрь, является вспомогательным.

12) Прогноз слабого, преобладающего, сильного ветра по юго-востоку Западной Сибири на 1-5 сутки (И.Г. Храмцова, И.П. Прокопьева, СибНИГМИ). Рассчитывается в течение года, является основным.

13) Прогноз гололеда (Р.А. Ягудин, ГМЦ ЗС УГМС). Данный метод используется в качестве вспомогательного, период расчета с январь по март и с октября по декабрь.

3 Циклогенез над территорией Западной Сибири

Западная Сибирь простирается от Уральских гор до реки Енисей. Значительную часть ее территории занимает Западно-Сибирская равнина. Климат на этой территории континентальный. Особенности климата формируются на основе погодных режимов всех субъектов Российской Федерации, расположенных в этой части Сибири.

Климат Западной Сибири слабо подвержен влиянию Атлантических воздушных масс, поскольку Уральские горы препятствуют распространению воздушных масс с европейской территории России в изначальном виде. С апреля по сентябрь Западная Сибирь под влиянием ветров, распространяющихся с районов Северного Ледовитого океана, а также с востока территории. Циклоны и антициклоны, смещающиеся с Арктики приносящие с собой более холодные воздушные массы. С южных и юго-западных районов территории дуют сухие азиатские, зимой над этими районами господствует Сибирский антициклон, который формирует ясную и морозную погоду практически над всей территорией Западной Сибири.

3.1 Описание местных циклонов над территорией Новосибирской области в период с 2015 по 2017 гг

21-23 мая 2015 г.

Погоду на протяжении этого периода определял циклон, сформированный в районе Камского водохранилища в ложбине, ось которой распространялась на северо-западные районы Кустаная. В результате углубления в данной ложбине сформировался собственный центра, который, впоследствии смещался на северо-восток, к западным районам Новосибирской области. На конец ночи 21.05 волна полярного фронта, окклюдируясь, сместилась на восточные районы области. С 22.05 по 23.05

вся область оказалась под влиянием ложбины и связанного с ней арктического фронтального раздела (Приложение А1-А5).

28-29 мая 2015 г.

Через районы Новосибирской области смещалась ложбина циклона, центр которого смещался с районов Нового Уренгоя на Красноярский край. С данной ложбиной была связана окклюдирующая волна полярного фронта. 29.05 территория области оказалась под влиянием ложбины, и, связанного с ней арктического фронтального раздела (Приложение А6-А8).

23-24 июля 2015 г.

В течение суток 23.05 погоду над территорией Новосибирской области определял волновой циклон полярного фронта, сформированный в ложбине южнее г. Омска. Данное барическое образование смещалось на южные и восточные районы области. На протяжении суток 24.05 западные районы области были под влиянием следующей волны полярного фронта (Приложение А9-А11).

13 августа 2015 г.

В период с 12.08 по 14.08 центр циклона с северо-восточных районов Кокчетавы смещался на северо-восток, через районы Новосибирской области. С данным циклоном была связана полярная система фронтов, а также вторичные приземные фронты, оказывающие влияние на территорию области на протяжении всех суток 13.08 (Приложение А12-А13).

8 января 2016 г.

В течение суток 8.01 западные и юго-западные районы Новосибирской области находились под влиянием перемычки низкого давления, связанной с циклонами над северо-западными районами Казахстана и Тобольска соответственно. На протяжении данного периода в перемычке низкого давления сформировался собственный центр циклона, который, впоследствии смещался с районов Барабинска на восточные районы Новосибирской области (Приложение А14-А16).

26-27 апреля 2016 г.

В данный период циклон сформировался над северными районами Пермского края и смещался в юго-восточном направлении через центральные районы Томской области и восток Новосибирской области. Под влиянием фронтальных разделов полярного фронта, а также вторичных приземных фронтов была вся территория Новосибирской области (Приложение A17-A20).

1-3 мая 2016 г.

В течение данного периода территория Новосибирской области была под влиянием широтно вытянутой ложбины, в которой на волне полярного фронта сформировался замкнутый центр циклона. Вновь образованный циклон оказывал влияние на южные и юго-восточные районы области (Приложение A21-A23).

27-29 августа 2016 г.

В конце ночи 27.08 в районах г. Тары сформировался центр циклона, впоследствии, без существенного изменения интенсивности смещался на юго-восток, через районы Новосибирской области (Приложение A24-A26).

4 апреля 2017 г.

На протяжении суток 4.04 территория Новосибирской области оказалась под влиянием циклона, сформированного в ложбине, смещающейся на восток с районов Тюменской области (Приложение A27-A28).

4 Оправдываемость метеорологических полей в дни с местным циклогенезом

В настоящей работе представлен анализ ошибок прогностических величин (температуры, ветра, осадков) для каждой из 35 станций Новосибирской области в период активного воздействия местных циклонических образований. Анализовались расчетные значения модели COSMO-Ru с заблаговременностью от 0 до 78 часов за расчетные сроки 00 и 12 часов по ВСВ.

4.1 Оправдываемость полей температуры воздуха по модели COSMO-Ru над территорией Новосибирской области

В приложении Б на рисунках представлены изменения среднемесячной арифметической ошибки температуры воздуха по территории Новосибирской области в целом.

На графике (Приложение Б1) представлены изменения среднемесячной арифметической ошибки по территории области в целом за один зимний месяц – январь 2016 г.

Отметим, что в среднем ошибка прогноза температуры воздуха за январь колеблется от $+7^{\circ}\text{C}$ до -6°C . При прогнозировании дневных температур происходило занижение величины, а при прогнозе ночных завышение значений на 7°C и 6°C соответственно. Следует отметить также, что максимальные и минимальные значения ошибки за весь период имеют два значительных выброса: $+13^{\circ}\text{C}$ и -12°C соответственно.

На рисунке (Приложение Б2) также видно, что средняя ошибка прогностических значений дневных температур занижаются на 9°C , а ночных на $11-15^{\circ}\text{C}$. Экстремальные значения ошибки прогноза температуры воздуха составляют $+15^{\circ}\text{C}$ и -9°C .

На графике (Приложение Б3) представлено изменение среднемесячной ошибки температуры воздуха для августа. Ошибка имеет четкое разделение на день и ночь, величина ошибки составляет в среднем 4 °С для ночи и дня. Резких колебаний на протяжении всего месяца практически нет, за исключением начала периода – среднемесячное значение температуры составило 14 °С.

За расчетный срок 12 ВСВ (Приложение Б4) изменения величины имеют значительные колебания – от 4-8 °С ночью и днем. Также на протяжении всего месяца заметно отчетливое разграничение ошибки прогностической величины ночью и днем.

Апрель характеризовался значительными колебаниями ошибки во второй половине месяца. Дневные значения ошибки составили 2-4 °С, ночные 3-12 °С (Приложение Б5). Ночные и дневные колебания ошибки за срок расчета модели 12 ВСВ составили 4-10 °С и 3-12 °С соответственно (Приложение Б6).

В июле средняя ошибка прогностических значений ночью и днем имела довольно синхронные колебания за сроки расчета модели 00 и 12 ВСВ. Изменения величины для ночи и дня в среднем не превышали 2-8 °С (Приложение Б7-Б8).

Средняя ошибка прогноза температуры воздуха в мае имеет отличия по сравнению с другими месяцами (Приложение Б9). Дневные колебания в среднем не превышают 2 °С, а ночные достигают 2-4 °С. Значительные колебания характерны для дневных значений, присутствуют в начале и в середине периода, достигая -9 °С и -5 °С.

Исходя из Приложения Б10, следует отметить, что изменение ночных прогностических ошибок достигает 4-8 °С, дневные значения колеблются в пределах от ± 6 °С.

Ниже на рисунках 4.1 и 4.2 представлены осредненные значения температуры воздуха за все месяцы.

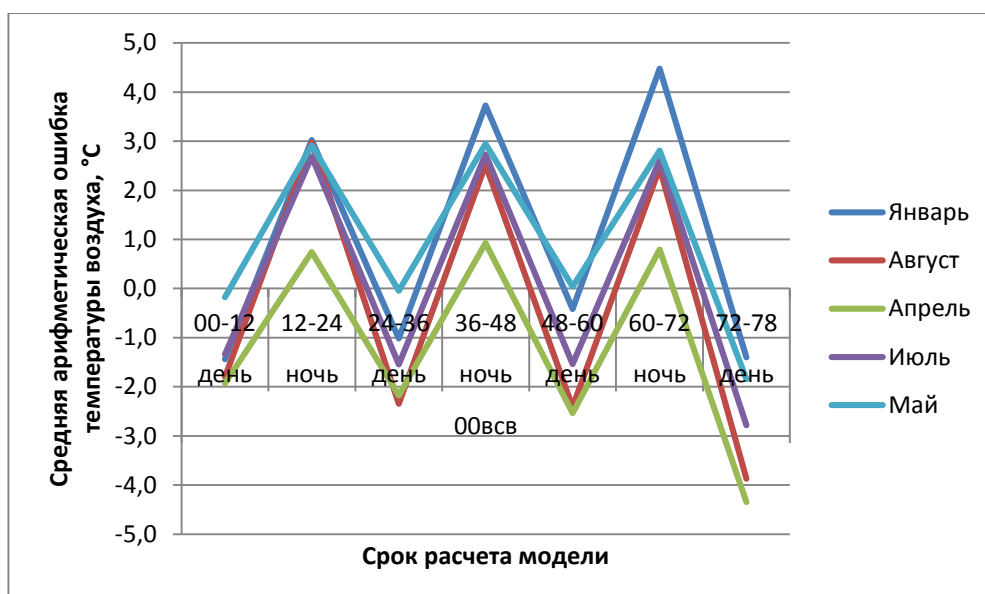


Рисунок 4.1 – Осредненные значения ошибки прогноза температуры воздуха за расчетный срок 00 ВСВ

В период расчета 00 ВСВ модель преимущественно занижает прогностические значения величины для дня 2-4 °С, ночью модель завышала значения на 3-5 °С.

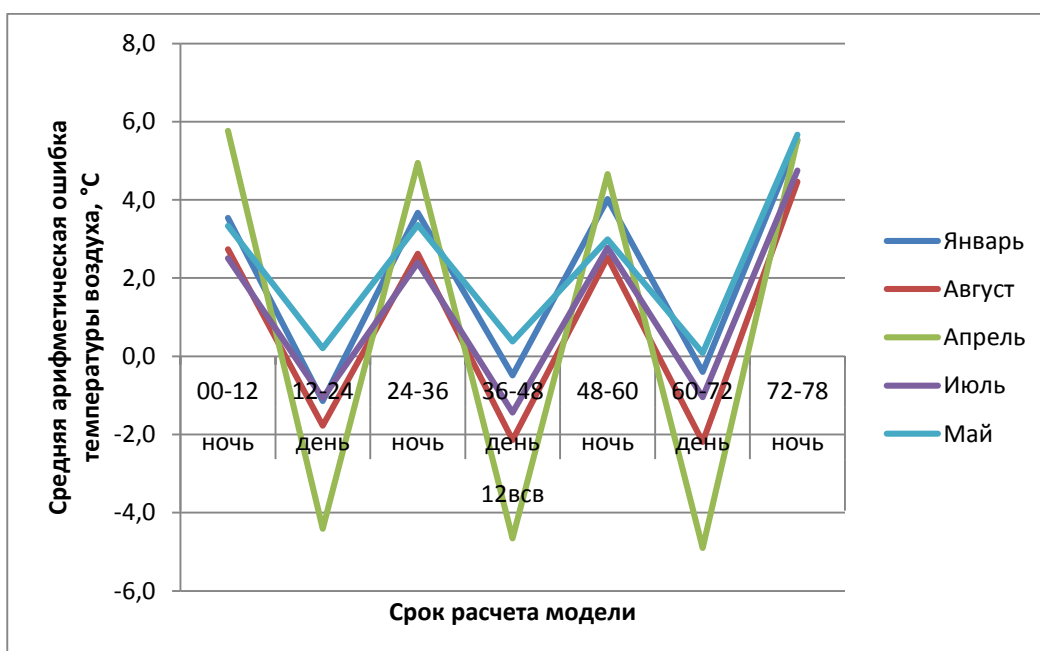


Рисунок 4.2 – Осредненные значения ошибки прогноза температуры воздуха за расчетный срок 12 ВСВ

Для расчетного срока 12 ВСВ также характерно занижение прогностических значений температуры воздуха днем и завышение ночью на 2-5 °С.

4.2 Оправдываемость полей скорости ветра по модели COSMO-Ru над территорией Новосибирской области

Скорость ветра является одной из самых изменчивых и трудно прогнозируемых метеорологических величин.

25 января за расчетный срок 00 ВСВ присутствуют два значительных выброса величины – 3 м/с и 29 числа – 5 м/с. За срок 12 ВСВ подобных выбросов на протяжении всего месяца значительно больше, максимальные значения ошибки составили 4-6 м/с (Приложение Б11-Б12).

В августе средняя арифметическая ошибка имеет довольно ровный фон на протяжении всего периода. Лишь в конце первой декады отмечался значительное колебание величины – 8 м/с. За срок 12 ВСВ экстремальные значения ошибки прогноза скорости ветра достигли 3-7 м/с (Приложение Б13-Б14).

В апреле за сроки 00 и 12 ВСВ средняя арифметическая ошибка прогноза скорости ветра не превысила 3-6 м/с (Приложение Б15-Б16).

В июле, также за сроки 00 и 12 ВСВ, на протяжении всего месяца средняя арифметическая ошибка составила 2-4 м/с, но следует выделить период с 13 по 20 число, в котором ошибка прогноза скорости ветра достигла 7 м/с (Приложение Б17-Б18).

В мае экстремальные значения ошибки прогноза скорости ветра также имеют значительное число выбросов. Средняя ошибка достигла 6-8 м/с (Приложение Б19-Б20).

При осреднении арифметической ошибки по территории заметно четкое изменений данной величины от дня к ночи (рисунок 4.3, 4.4).

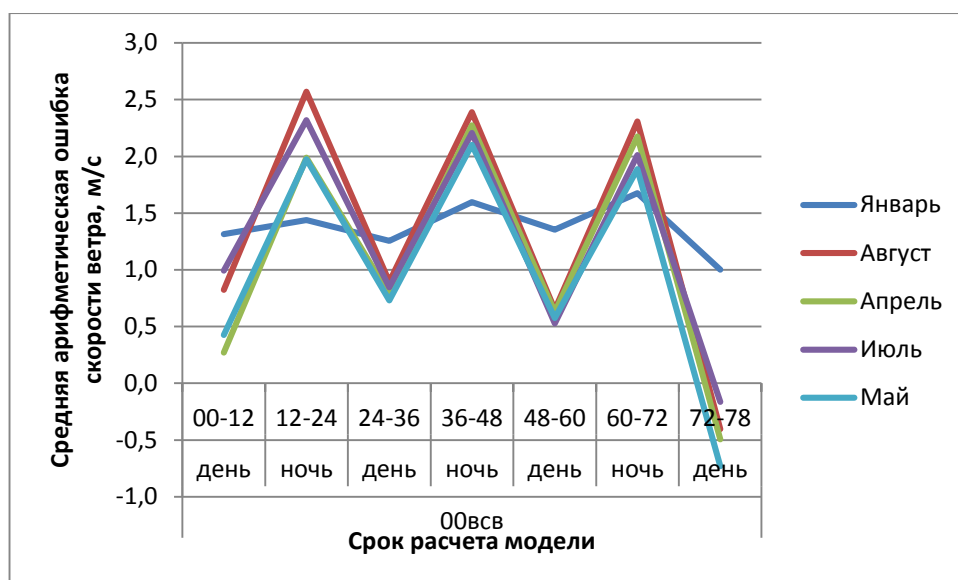


Рисунок 4.3 – Осредненные значения ошибки прогноза скорости ветра за расчетный срок 00 BCB

За расчетный срок 00 BCB видно, что величина не превышает 3 м/с ночью и 2 м/с днем.

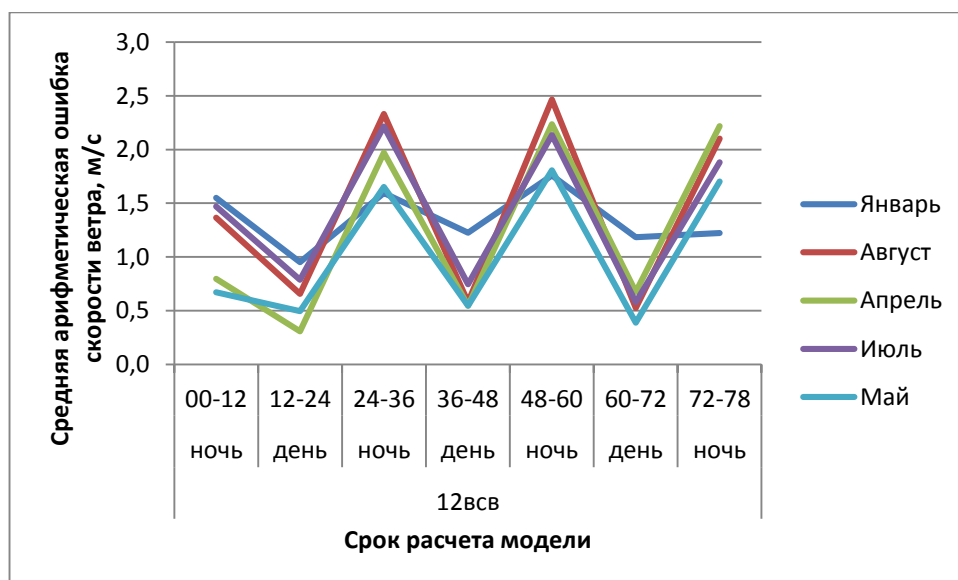


Рисунок 4.4 – Осредненные значения ошибки прогноза скорости ветра за расчетный срок 12 BCB

За срок 12 BCB ошибка прогноза скорости ветра ночью составляет не больше 2,5 м/с, а днем 1 м/с.

Таким образом, за сроки 00 и 12 ВСВ модель COSMO-Ru при прогнозировании скорости ветра в среднем занижает дневные значения величины на 1-2 м/с, а ночные завышает на 2-3 м/с.

4.3 Оправдываемость полей количества осадков по модели COSMO-Ru над территорией Новосибирской области

Важное значение при составлении прогноза погоды является возможность точного прогнозирования осадков, как явления. В настоящей работе были использованы характеристики оправдываемости прогноза факта осадков, рассчитанные путем составления матрицы сопряженности [48], фрагмент которой приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Упрощенная форма матрицы сопряженности.

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	Осадки	Без осадков	
Осадки	n11	n12	n10
Без осадков	n21	n22	n20
Сумма	n01	n02	n00

n11 – число оправдавшихся прогнозов факта осадков; n12 – число неоправдавшихся прогнозов факта наличия осадков; n10 – число прогнозов наличия осадков; n21 – число неоправдавшихся прогнозов отсутствия осадков; n22 – число оправдавшихся прогнозов отсутствия осадков; n20 – число прогнозов отсутствия осадков; n01 – число случаев с осадками; n02 – число случаев без осадков; n00 – общее число прогнозов факта наличия и отсутствия осадков для данной выборки.

По результатам матрицы сопряженности были рассчитаны следующие характеристики успешности прогноза факта наличия осадков (%):

оправдываемость прогноза наличия осадков

$$U_{oc} = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100 \quad (1)$$

предупрежденность факта наличия осадков

$$Пос = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100 \quad (2)$$

критерий качества прогноза (критерий Пирси-Обухова)

$$T = \frac{n_{11}}{n_{01}} - \frac{n_{12}}{n_{02}} \equiv \frac{n_{22}}{n_{02}} - \frac{n_{21}}{n_{01}} \quad (3)$$

В приложении В на рисунках приведены изменения характеристик успешности прогноза осадков в зависимости от срока расчета модели, а также от месяца года осредненные по территории Новосибирской области.

При анализе рисунков (приложение В1-В10) замечено, что для всех периодов, а также для каждого срока расчета модели предупрежденность осадков (Пос) значительно превышает оправдываемость прогноза наличия осадков (Uос) – 20-40 %. Это говорит о том, что при расчете поля осадков по территории для модели COSMO-Ru характерна значительная перестраховка количества ожидаемых осадков. Несмотря на это, было замечено, что оправдываемость прогноза наличия осадков (Uос) больше на 10-15 % при расчете модели за срок 12 ВСВ, чем за 00 ВСВ. Т-критерий успешности прогноза осадков с увеличением заблаговременности уменьшается, но от 0 до 60 часов данная характеристика колеблется в пределах 0,6 – 0,7 единиц (чем ближе Т-критерий к 1, тем успешнее прогноз [48]).

Несмотря на то, что характеристики успешности прогноза осадков приведенные в приложении В не имеют явно заметных отличий, тем не менее, из числа рассмотренных месяцев (апрель, май, июль, август, январь) можно выделить те, в период которых поля осадков по модели COSMO-Ru оправдались лучше – май, июль и январь (Приложение В3 – В10).

При прогнозе осадков в дни с циклогенезом, модель COSMO-Ru также имеет случаи с непредупрежденными осадками, так называемые «пропуски». Для анализа таких «пропусков» были построены графики, приведенные на рисунка 4.5 и 4.6.

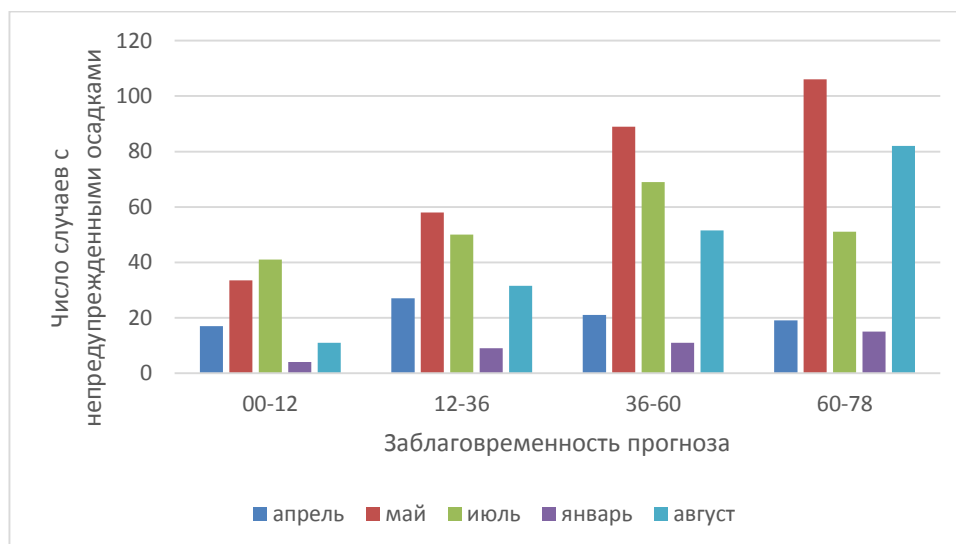


Рисунок 4.5 – Случаи непредупрежденности прогноза осадков по модели COSMO-Ru за срок 00 BCB

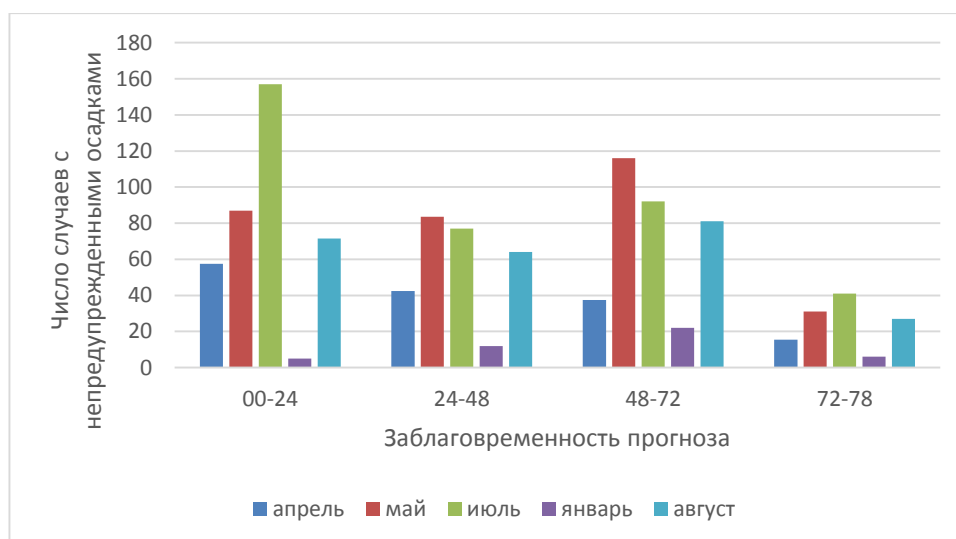


Рисунок 4.6 – Случаи непредупрежденности прогноза осадков по модели COSMO-Ru за срок 12 BCB

Из рисунков 4.5 и 4.6 видно, что наиболее точно прогноз поля осадков оправдался в январе максимальное число случаев составило 4-22. Наибольшее количество непредупрежденных случаев с осадками приходится на июль 69-157 и на май 106-116. В апреле и в августе доля непредупрежденных случаев составила 82-81 в целом.

Для того чтобы проанализировать среднюю арифметическую ошибку были построены карто-схемы средней арифметической ошибки прогноза количества осадков в периоды действия местных циклонов над территорией Новосибирской области (Приложение Г).

Исследовав каждый из периодов, была составлена сравнительная таблица станций с максимальными ошибками.

Таблица 4.2 – Максимальные ошибки прогноза количества осадков по модели COSMO-Ru в периоды местного циклогенеза

Период	Срок прогноза	Станция/район
1-4.05 2016г. (Приложение Г1-Г2)	День 00 и 12 ВСВ	Крещенка, Болотное Ужаниха, Довольное
1-4.05 2016г. (Приложение Г3-Г4)	Ночь 00 и 12 ВСВ	Кыштовка, Болотное, Убинское, Каргат, Чулым
3-5.04 2017г. (Приложение Г5-Г6)	День 00 и 12 ВСВ	Северное, Довольное, Краснозерск, Мошково
3-5.04 2017г. (Приложение Г7-Г8)	Ночь 00 и 12 ВСВ	Кыштовка, Северное, Крещенка, Убинское, Мошково
7-9.01 2016г. (Приложение Г9-Г12)	День и ночь 00 и 12 ВСВ	Сузун, Краснозерское, Кочки, Ордынское
12-14.08 2015г. (Приложение Г13-Г14)	День 00 и 12 ВСВ	Венгерово, Убинское, Обская ГЭС, Мошково, Чаны, Чистоозерное
12-14.08 2015г. (Приложение Г15-Г16)	Ночь 00 и 12 ВСВ	Венгерово, Барабинск, Убинское, О. Дальний, Купино, Мошково, Обская ГЭС, Маслянино

Продолжение таблицы 4.2

20-24.05 2015г. (Приложение Г17-Г18)	День 00 и 12 ВСВ	Кыштовка, Краснозерское, Довольное, Мошково, Усть- Тарка, Татарск, Крещенка, Довольное
20-24.05 2015г. (Приложение Г19-Г20)	Ночь 00 и 12 ВСВ	Крещенка, Колывань, Искитим, Сузун, Усть-Тарка, Обская ГЭС
22-25.07 2015г. (Приложение Г21-Г22)	День 00 и 12 ВСВ	Купино, Колывань, Крещенка, Ордынское, Барабинск, Искитим
22-25.07 2015г. (Приложение Г23-Г24)	Ночь 00 и 12 ВСВ	Крещенка, Купино, Ужаниха, Чистоозерное, Баган, Барабинск, Чулым, Колывань
25-28.04 2016г. (Приложение Г25)	День 12 ВСВ	Ужаниха
25-28.04 2016г. (Приложение Г26)	Ночь 12 ВСВ	Ужаниха, Коченево, Мошково, Довольное
26-30.08 2016г. (Приложение Г27-Г28)	День 00 и 12 ВСВ	Квашнино, Крещенка
26-30.08 2016г. (Приложение Г29-Г30)	Ночь 00 и 12 ВСВ	Купино, Квашнино, Барабинск, Татарск, Венгерово, Северное, Колывань
27-30.05 2016г. (Приложение Г31-Г32)	День 00 и 12 ВСВ	Колывань, Мошково, Огурцово, Искитим, Маслянино, Тогучин, Болотное
27-30.05 2016г. (Приложение Г33-Г34)	Ночь 00 и 12 ВСВ	Маслянино, Искитим, Посевная, Обская ГЭС, Огурцово, Учебная, Колывань, Мошково

Из таблицы видно, что большинство случаев с максимальными ошибками отмечались на следующих станциях: Крещенка, Мошково, Колывань, Барабинск, Убинское – север территории, Обская ГЭС, Ужаниха, Искитим, Купино, Довольное – юг, юго-восток территории. Данные пункты совпадают с траекторией смещения местных циклонов.

4.4. Оправдываемость сильных осадков по модели COSMO-Ru

Прогноз сильных осадков в оперативно-прогностической работе является наиболее сложным, поскольку лишь небольшая часть расчетных методов, в том числе и модель COSMO-Ru могут их прогнозировать.

В работе, путем сравнения дней с фактически наблюдаемыми и прогнозируемыми сильными осадками было выявлено, что большая часть несовпадения прогноза и фактических данных за сроки 00 и 12 ВСВ приходится на июль – 26-31 и август – 12-14 случаев (рисунок 4.7, 4.8).

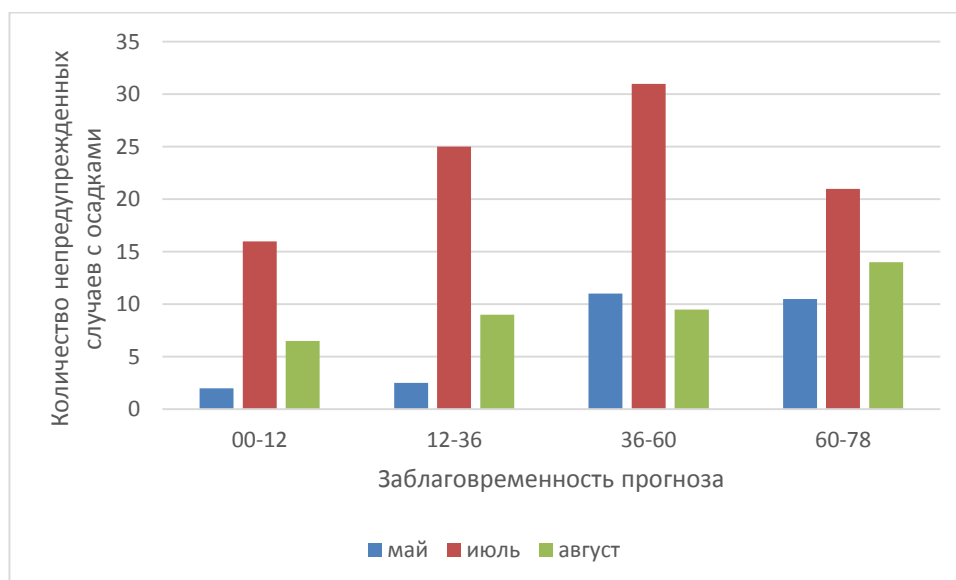


Рисунок 4.7 - Случаи непредупрежденности прогноза сильных осадков по модели COSMO-Ru за срок 00 ВСВ

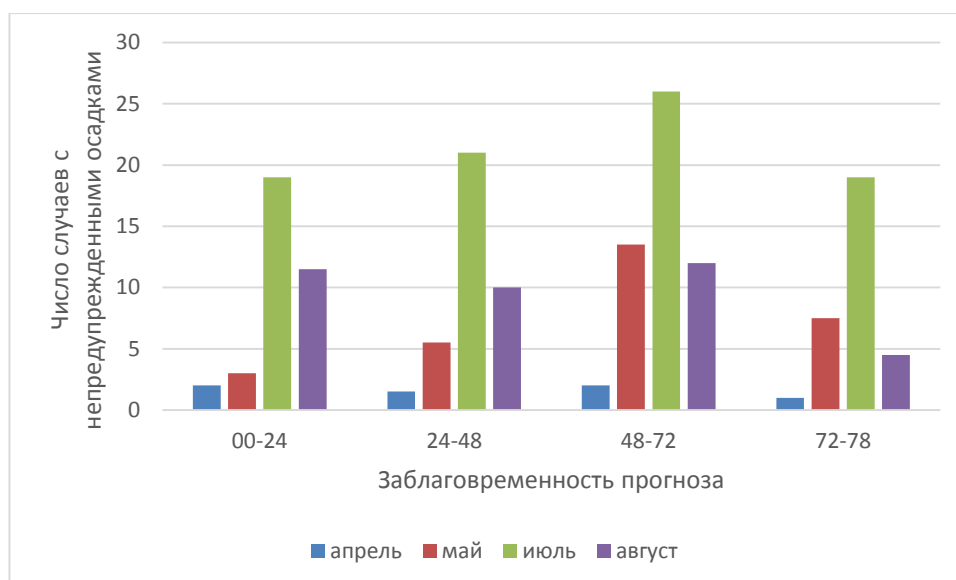


Рисунок 4.8 - Случаи непредупрежденности прогноза сильных осадков по модели COSMO-Ru за срок 12 BCB

Наименьшая доля ошибки модели за оба срока расчета прогноза приурочена к апрелю и маю 1-14 случая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были получены следующие выводы:

1. Из массива прогностических данных по модели COSMO-Ru за период с 2015 по 2017 гг. были отобраны дни с наличием процесса местного циклогенеза над территорией Новосибирской области.

2. Для каждого из периодов циклогенеза (включая день до циклогенеза и день после) были составлены и проанализированы таблицы сопряженности прогноза факта наличия и количества осадков.

3. В результате анализа прогностических полей температуры воздуха и скорости ветра было выявлено, что в среднем за расчетные сроки 00 и 12 ВСВ модель занижает прогностическую температуру днем на 2-4 °С, а ночью завышает на 3-5 °С; оценка прогностических полей скорости ветра показала, что имеется завышение скорости ветра ночью на 2-3 м/с, а днем на 1-2 м/с.

4. Пространственный анализ полей ошибок прогноза осадков показал, что большинство случаев с максимальными ошибками отмечались на следующих станциях: Крещенка, Мошково, Колывань, Барабинск, Убинское – север территории, Обская ГЭС, Ужаниха, Искитим, Купино, Довольное – юг, юго-восток территории. Данные пункты совпадают с траекторией смещения местных циклонов, таким образом, можно предполагать, что ошибки прогноза полей осадков по модели COSMO-Ru связаны с прохождением активных местных циклонов через территорию Новосибирской области.

5. Проанализировав случаи непредупрежденности прогноза осадков в сумме за два срока прогноза за каждые сутки было получено, что наибольшее число неспрогнозированных осадков, приходится на май 43 % и июль 64 % (из 106 и 157 случаев соответственно). В среднем за полусутки модель ошибалась примерно на 22 % случаев в май и 32 % в июле.

6. В том числе моделью за сутки не были спрогнозированы сильные осадки в июле и августе (33 % и 36 % соответственно).

7. Результаты, полученные в настоящей работе в дальнейшем будут использоваться при улучшении прогноза по модели COSMO-RU.

8. Сравнивая полученные результаты прогноза осадков с представленными в [51] можно утверждать, что

А) при средней продолжительности влияния местных циклонов на погоду января 2 дня [52] оправдываемость прогноза осадков в дни циклогенеза практически совпадает с общей оправдываемостью численного прогноза;

Б) в мае и августе оправдываемость в дни циклогенеза (2,5 и 8 дней влияния соответственно) ниже общей оправдываемости этих месяцев на 5-7 %.

В) апреле и июле (3 и 5 дней влияния местных циклонов соответственно) оправдываемость осадков в дни циклогенеза ниже общей оправдываемости на 10-20 %.

Полученные итоги можно считать предварительными, поскольку для получения надежных выводов ряд наблюдений необходимо увеличить.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марчук Г.И. Численные методы в прогнозе погоды / Г.И. Марчук. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 353 с.
2. Jung T., Miller M.J., Palmer T.N. et al. High-resolution global climate simulations with the ECMWF model in Project Athena: Experimental design, model climate, and seasonal forecast skill // J. Climate. – 2012. – Vol. 25, No. 9. – P. 3155–3172.
3. Kendon E.J., Roberts N.M. Senior C.A., Roberts M.J. Realism of rainfall in a very high-resolution regional climate mode // J. Clim. – 2012. – Vol. 25. No. 17. P. 5791–5806.
4. Толстых М.А. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития. – Труды Гидрометцентра России, 2016. - № 359. С. 5-32.
5. Hortal M. Aspects of the numerics of the ECMWF model // Recent developments in numerical methods for atmospheric modelling. – Procs. of the ECMWF Seminar 7–11 September 1998. – Reading, UK: 1999. – P. 50.
6. Salmond D., Hamrud M. IFS scalability and computational efficiency // 14th ECMWF Workshop on Use of High Performance Computing in Meteorology, 1–5 November 2010. – http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/2010/high_performance_computing_14th/presentations/Salmond_Hamrud.pdf
7. NCEP GFS. – <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html>
8. Staniforth A., Melvin T., Gung Ho Wood. N. A new dynamical core for the Unified Model // ECMWF Seminar on Numerical Methods for Atmosphere and Ocean Modelling, 2-5 September 2013, ECMWF, Reading, UK. – 2014. – P. 15–30.
9. Qaddouri A., Lee V. The Canadian Global Environmental Multiscale model on the Yin-Yang grid system // Q. J. Roy. Meteorol. Soc. – 2011. – Vol. 137. P. 1913–1926.

10. Courtier P., Freydier C., Geleyn J.-F., Rabier F., Rochas M. The ARPEGE project at Météo-France // Procs. of the ECMWF seminar on numerical methods in atmospheric models – 1991. – Reading, UK: 1992. Vol. 2. P.192–208.
11. Wan H., Giorgetta M. A., Zängl G., Restelli M., Majewski D., Bonaventura L., Fröhlich K., Reinert D., Rípodas P., Kornblüeh L., Förstner J. TheICON-1.2 hydrostatic atmospheric dynamical core on triangular grids. Part 1:Formulation and performance of the baseline version // Geosci. Model Dev. – 2013. Vol. 6. P. 735–763.
12. Zängl G., Reinert D., Rípodas P., Baldauf M. The ICON (ICOsahedralNon-hydrostatic) modelling framework of DWD and MPI-M: Description of the non-hydrostatic dynamical core // Q. J. Roy. Meteorol.Soc. 2015. Vol.141. P. 563–579.
13. Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM 5.0) NCAR TECHNICAL NOTE NCAR/TN-486+STR. June 2010. – http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/cam/docs/description/cam5_desc.pdf
14. Dennis J.M., Vertenstein M., Worley P.H., Mirin A.A., Craig A.P., Jacob R., Mickelson S.A. Computational performance of ultra-high-resolution capability in the community earth system model // International Journal for High Performance Computer Applications. 2012. Vol. 26. P. 5–16.
15. Donner L., Wyman B.L., Hemler R.S., Horowitz L.W., Yi Ming, Ming Zhao, Golaz J.-C., Ginoux P., Lin S.-J., Schwarzkopf M.D. et al. The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component AM3 of the GFDL Global Coupled Model CM3 // J. Climate. 2011. Vol. 24. P. 3484–3519.
16. Сайт консорциума COSMO [Электронный ресурс]: <http://www.cosmo-model.org> (дата обращения 09.04.2018г.)
17. Zaengl G. ICON. Presentation on COSMO General Meeting, Eretria, Greece, 09.09.2014. http://cosmo-model.org/content/consortium/generalMeetings/general2014/plenary/icon_zangl.pdf.

18. Вильфанд Р. М., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Мезомасштабный краткосрочный региональный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-RU // Метеорология и гидрология. – 2010. № 1. С. 5—17.
19. Вильфанд Р. М., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Система COSMO-Ru мезомасштабного краткосрочного регионального прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. – 2010. № 8. С. 5—20.
20. Ривин Г. С., Розинкина И. А., Багров А. Н., Блинов Д. В. Мезомасштабная модель COSMO-Ru7 и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник Гидрометцентра России. – 2012. № 39. С. 15—48.
21. Bates J.R., Li Yong, Brandt A., McCormick S.F. and Ruge J., A global shallow-water numerical model based on the semi-Lagrangian advection of potential vorticity // Quart. J. Roy. Met.Soc. - 1995. - Vol.121 - P. 1981—2006.
22. Tolstykh M., Global semi-Lagrangian atmospheric model based on compact finite differences. In Proceedings of the ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference / M. Tolstykh. – Paris. – 1996. P. 9—14.
23. Mesinger, F. and A. Arakawa, Numerical methods used in atmospheric models. WMO / ISCU Joint Organising Committee, GARP Publications Series. - 1976. - N 17. Vol. 1-2. – P. 64 and 499.
24. Neta B., Williams R.T., Rossby wave frequencies and group velocities for finite element and finite difference approximations to the vorticity-divergence and primitive forms of the shallow water equations // Mon. Weather Rev., 1989. Vol. 117. – P. 1439—1457.
25. Randall D.A, Geostrophic adjustment and the finite difference shallow water equations // Mon. Weather Rev. 1994. Vol.122. – P. 1371—1377.
26. Tolstykh M. Vorticity-divergence semi-Lagrangian shallow-water model on the sphere based on compact finite differences // J. Comput. Phys. 2002. Vol. 179. – P. 180—200.

27. Толстых М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. – 2001, № 4. С. 5—16.
28. Tolstykh M.A., Gloukhov V.N. Implementation of global atmospheric models on parallel computers // Вычисл. Технологии. – 2002, Т.7. Спец. вып. С. 101—109.
29. Володин Е.М., Толстых М.А. Параллельные вычисления в задачах моделирования климата и прогноза погоды // Вычислительные методы и программирование. – 2007. Т. 8. С. 113—122.
30. Untch A., Hortal M. A finite-element scheme for the vertical discretization of the semi Lagrangian version of the ECMWF forecast model// Quart. J. Roy. Met. Soc. 2004. Vol. 130. – P. 1505—1530.
31. Staniforth, A.N., and Daley, R.W. A finite-element formulation for the vertical discretization of sigma-coordinate primitive equation models// Mon. WeatherRev. 1977. Vol. 105. – P. 1108—1118.
32. Цырульников М.Д., Толстых М.А., Багров А.Н., Зарипов Р.Б., Развитие глобальной системы усвоения данных с переменным разрешением// Метеорология и гидрология. – 2003. № 4. С. 5—24.
33. Смирнова М.М., Рубинштейн К.Г., Юшков В.П. Оценка воспроизведения региональной моделью характеристик пограничного слоя атмосферы // Метеорология и гидрология. – 2011. № 12. С. 5-16.
34. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Эксперименты по усвоению радиолокационной отражаемости в модели WRF ARW // Метеорология и гидрология. – 2012. № 3. С. 5-19.
35. Кисельникова В.З. Объектно-ориентированная оценка качества прогноза осадков // Метеорология и Гидрология. – 2013. № 4. с. 5-11.
36. Зарипов Р.Б., Коновалов И.Б., Глазкова А.А. Расчет концентраций загрязняющих веществ с использованием модели атмосферы WRF ARW и химико-транспортной модели CHIMERE // Метеорология и Гидрология. сдана в печать.

37. Кузнецова И.Н., Коновалов И.Б., Глазкова А.А. и др. Оценка вклада трансграничного переноса в загрязнение атмосферы в Дальневосточном регионе на основе применения химическо-транспортной модели // Метеорология и Гидрология. – 2013. № 3. С. 17-29.

38. Duda M.G., Manning K.W., Powers J.G. AMPS: A real-time application of WRF over Antarctica. – Presentation at NCAR-NCAS WRF Workshop 2009 (http://www.mmm.ucar.edu/people/duda/files/duda_2009.ppt).

39. ARW Version 3 modeling system user's guide. July 2012. – www.mmm.ucar.edu. 383 pp.

40. Fillion L., Tanguay M., Lapalme E. et al. The Canadian Meteorological Center Limited-Area Regional Data Assimilation and Forecasting System. – Weather and Forecasting. – 2010. Vol. 25. No 6. – P. 1645–1669.

41. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J. et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. – NCAR/TN–475+STR, NCAR Technical Note, June 2008.

42. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. – М. Обнинск, ОАО ФОР, 2010. - 111 с.

43. Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В. и др. Полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ. – Сборник статей «80 лет Гидрометцентру России», 2010. С. 193-216.

44. Здерева М.Я., Токарев В.М. Отчет об испытании метода «Автоматизированная технология прогноза гроз на 1-2 суток (12-60 часов) по территории деятельности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» на базе модельной продукции COSMO и GFS (NCEP) / М.Я. Здерева, В.М. Токарев. – СибНИГМИ, 2017. - 34 с.

45. Метод прогноза осадков по полусуткам пентады в зимний период для административных районов Новосибирской области. Авт. М.Я. Здерева [Электронный ресурс] URL: <http://method.meteorf.ru/region/novosib/novosib.html> (9.04.2018г)

46. Методы и технология расчета прогнозов температуры воздуха, осадков и класса пожарной опасности для административных районов Томской, Кемеровской областей и Алтайского края, а также Ханты-Мансийского автономного округа на 1-5 суток [Электронный ресурс] URL: <http://method.meteorf.ru/region/tomsk/tomsk.html> (09.04.2018г)

47. Отчет сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института (СибНИГМИ). – Новосибирск 2014. – 61 с.

48. Здерева М.Я. Отчет по результатам испытания «Метода и технологии прогноза приземной температуры воздуха на 12-72 часа по административным районам территории ответственности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» на базе комплексирования выходной продукции различных моделей» / М.Я. Здерева. – СибНИГМИ, 2013. - 18 с.

49. Токарев В.М., Здерева М.Я., Хлучина Н.А., Воробьева Л.П., Бабошина Н.А. Результаты испытаний новой оперативной технологии прогноза гроз В.М.Токарев, М.Я.Здерева, Н.А.Хлучина, Л.П.Воробьева, Н.А.Бабошина. – СибНИГМИ, 2017. - 21 с.

50. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических прогнозов. РД 52.27.284-91. / Комитет гидрометеорологии при кабинете министров СССР. – Москва 1991. - 150 с.

51. Тунаев Е.Л., Торубарова Г.П. Оправдываемость методов прогноза осадков, применяемых в оперативной практике ФГБУ "Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" Сборник Enviomis: Международная конференция и школа молодых ученых по измерению, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, 2016. С. 132-136.

52. Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П., Поднебесных Н.В. Особенности циклогенеза над территорией Западной Сибири за период 1976-2015 гг.

Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра
Российской Федерации, 2017. № 364. С. 81-92.

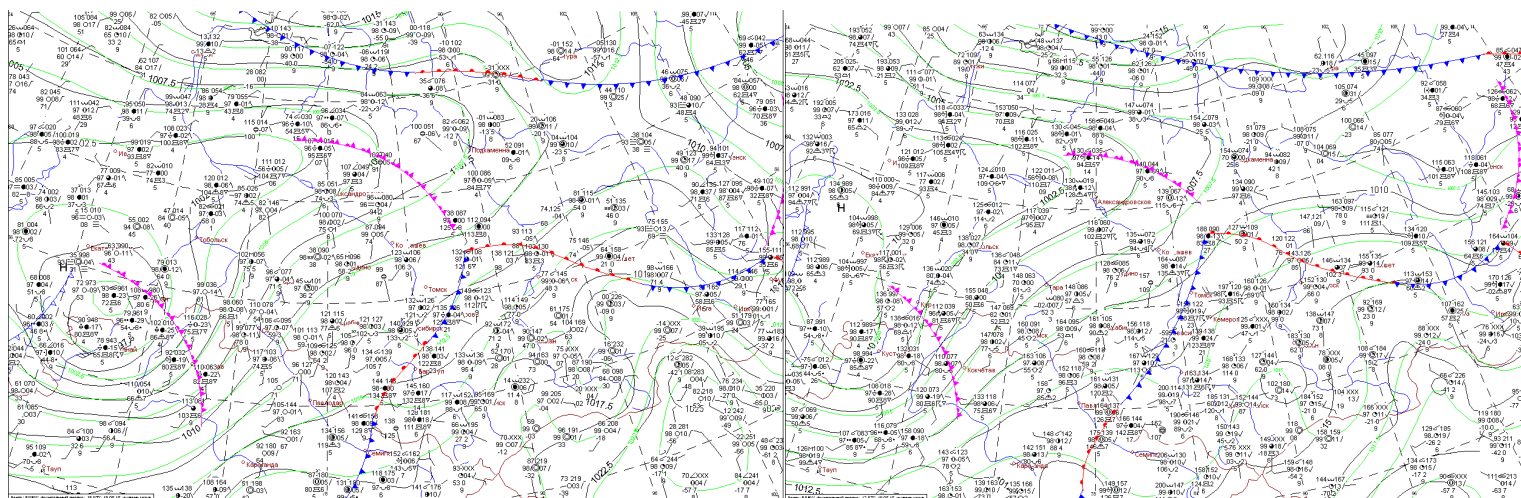


Рисунок А1 – Колцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 20.05.2015г.

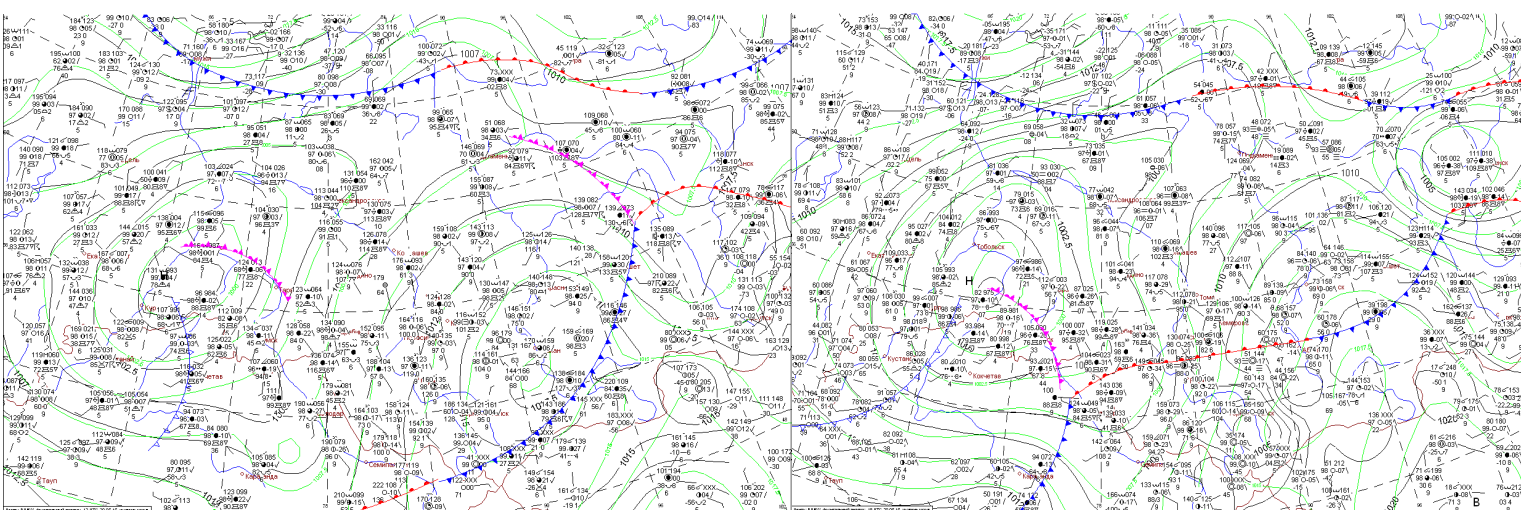
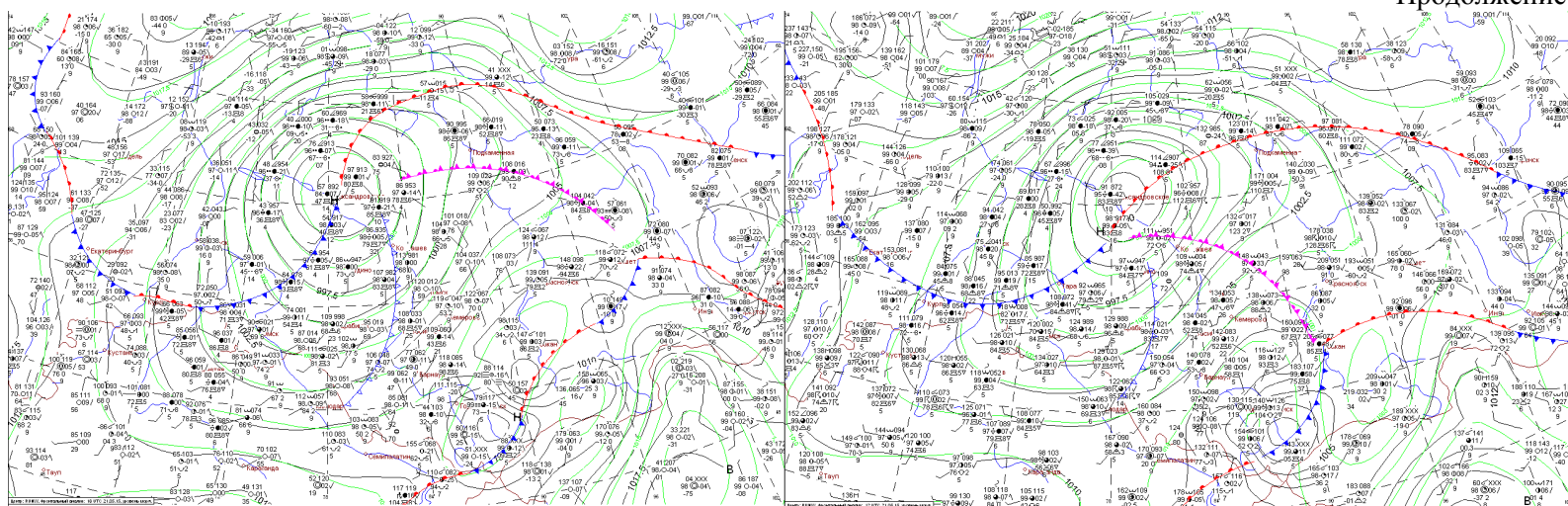


Рисунок А2 – Колцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 21.05.2015г.



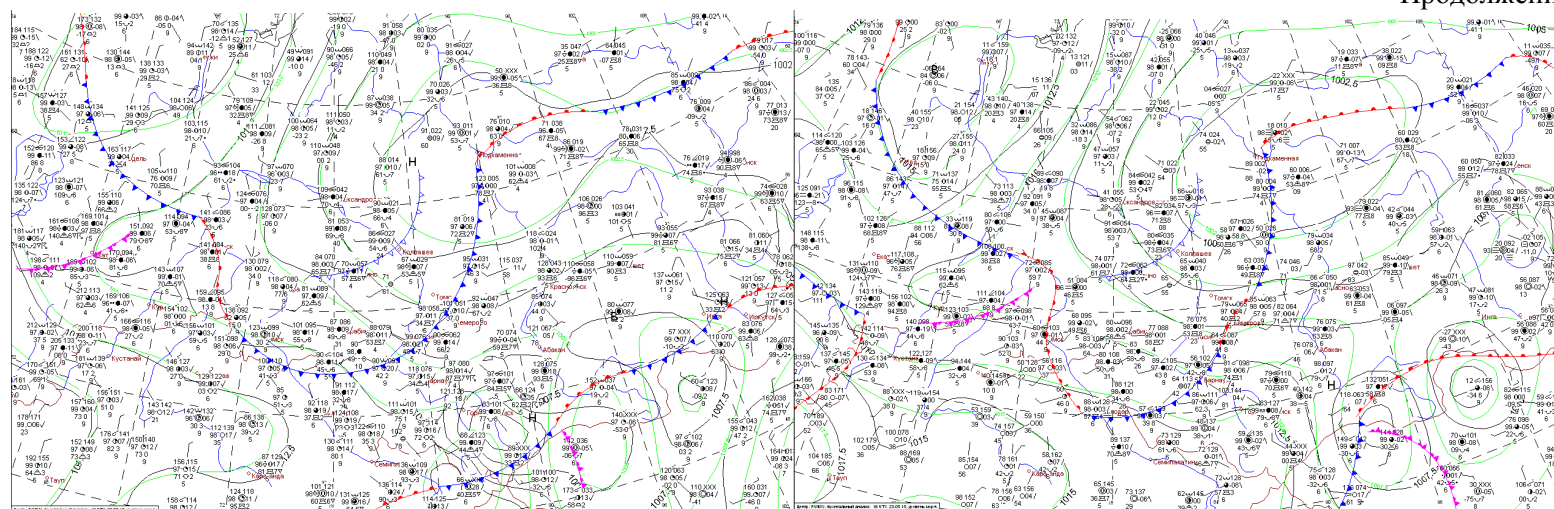


Рисунок А5 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 24.05.2015г.

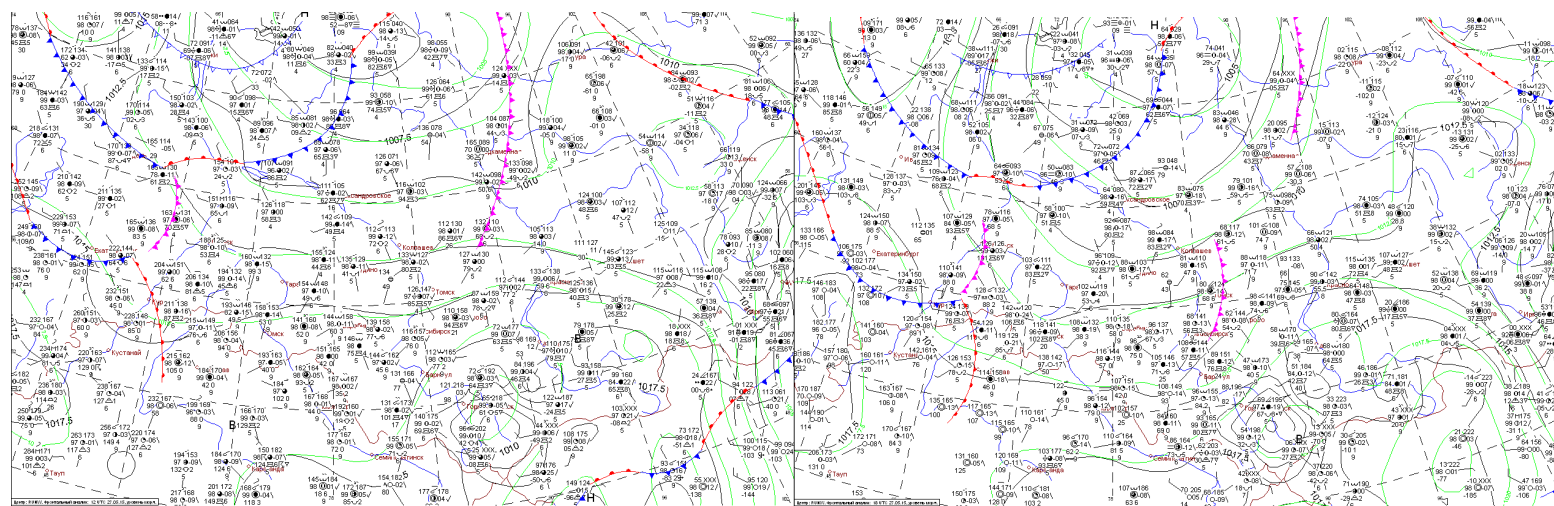


Рисунок А6 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 28.05.2015г.

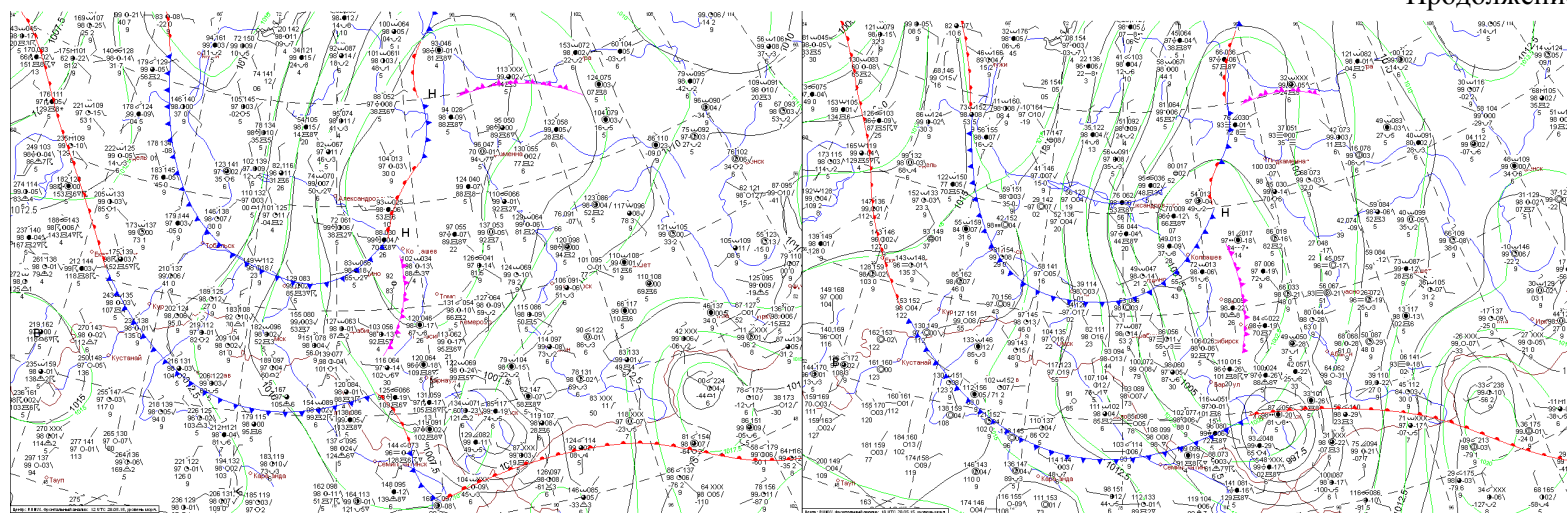


Рисунок А7 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 29.05.2015г.

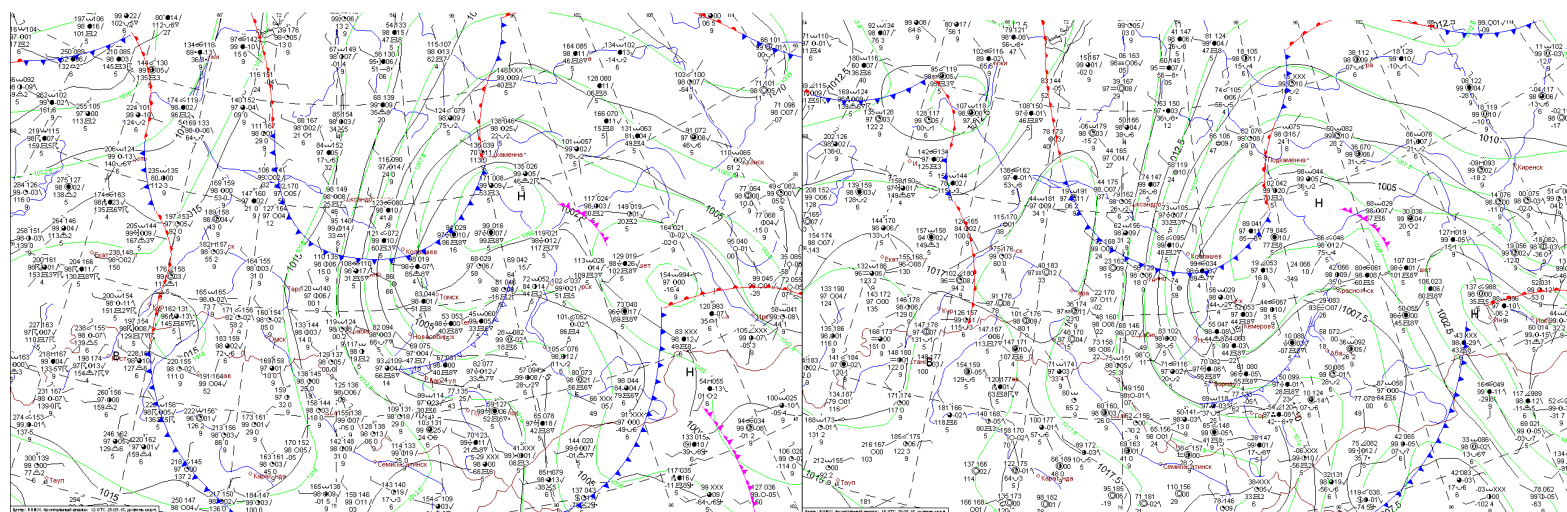


Рисунок А8 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 30.05.2015г.

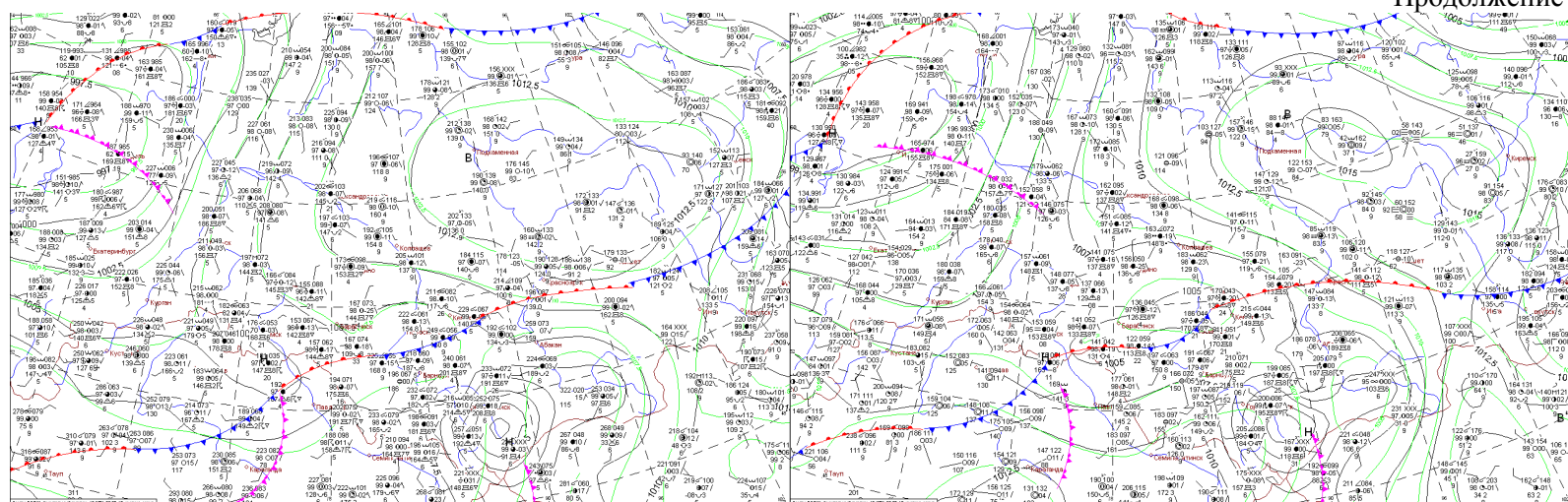


Рисунок А9 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 23.07.2015г.

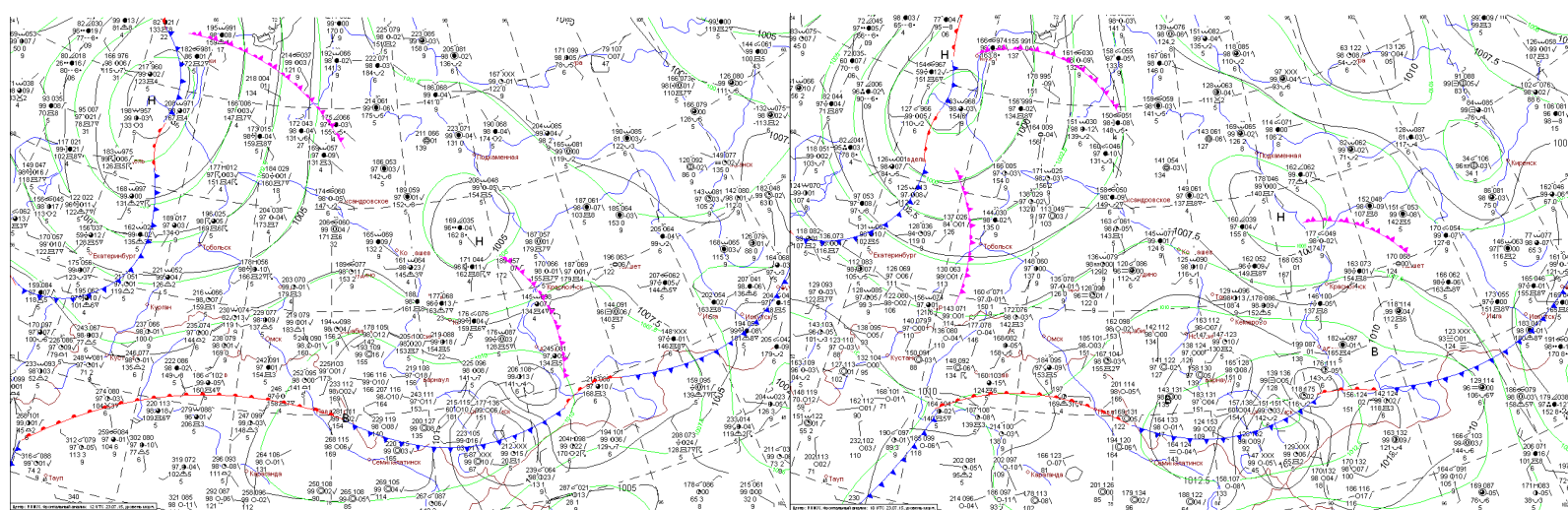


Рисунок А10 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 24.07.2015г.

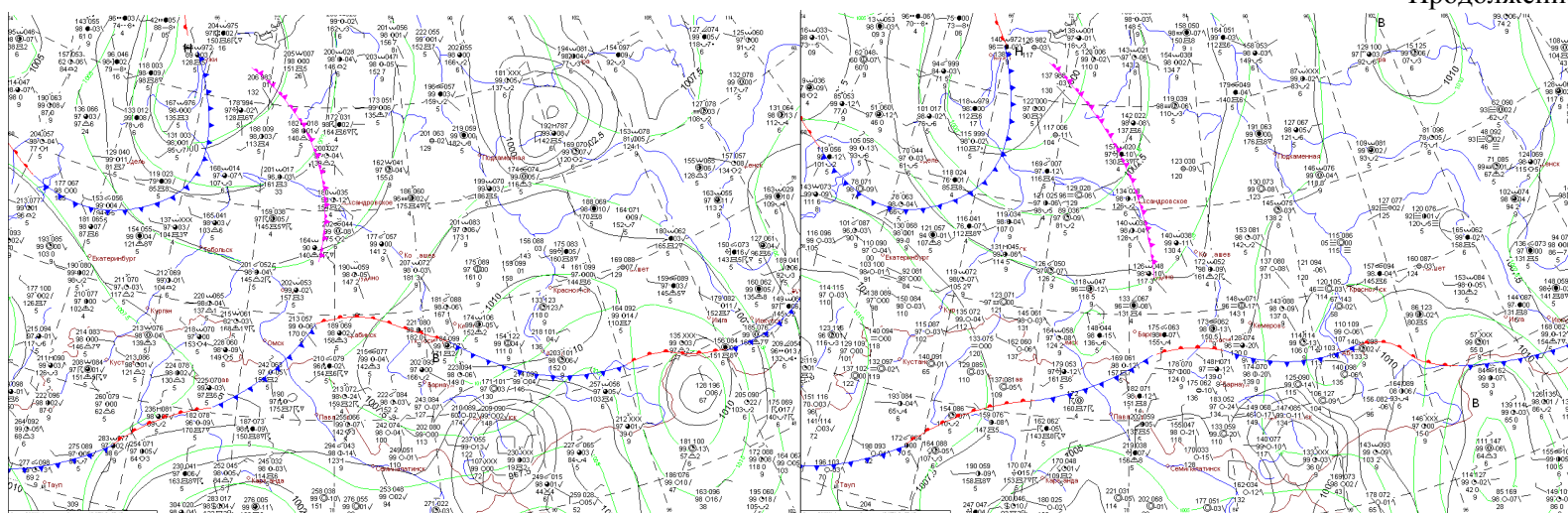


Рисунок А11 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 25.07.2015г.

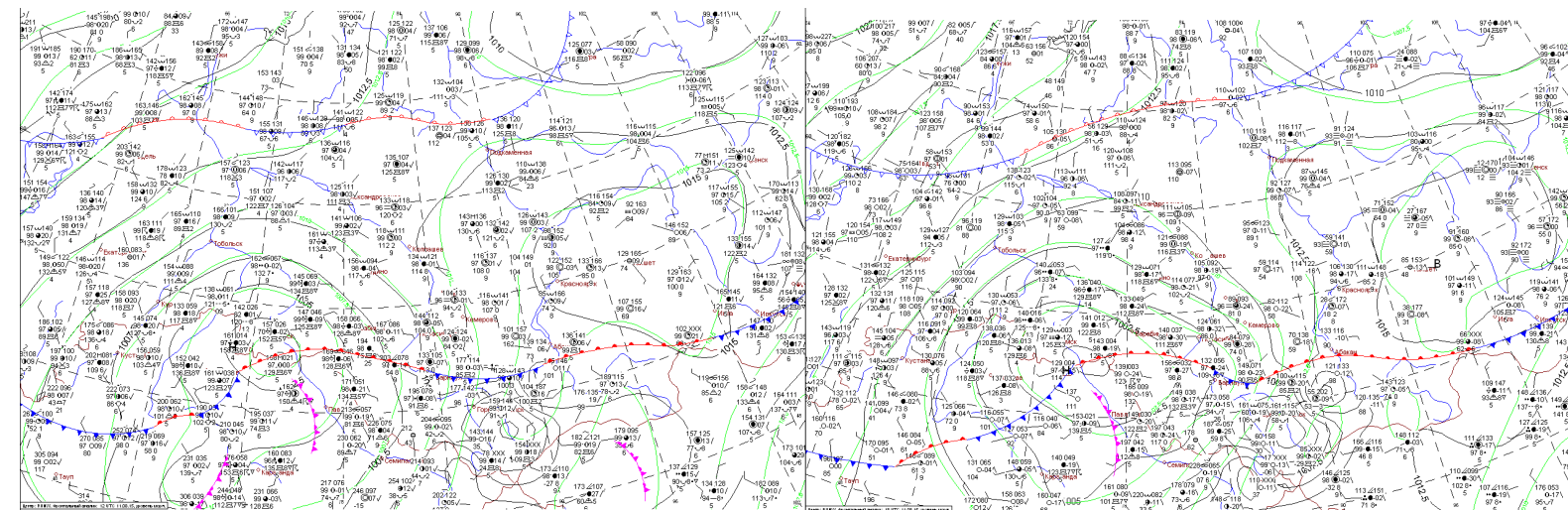


Рисунок А12 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 12.08.2015г.

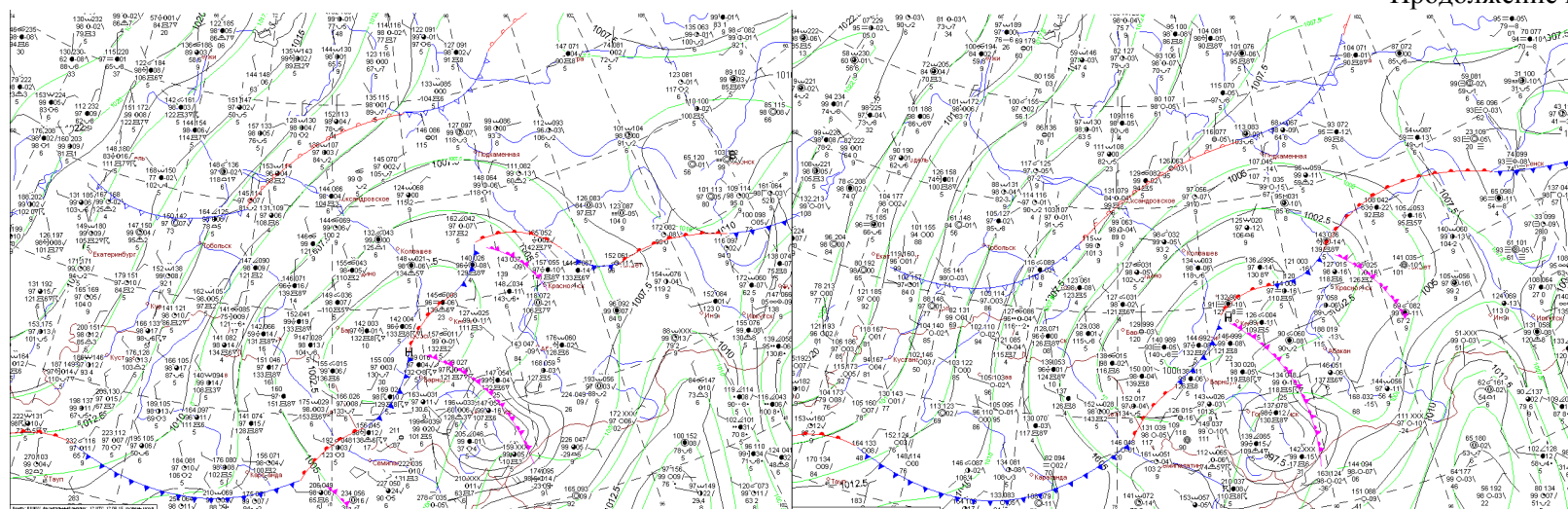


Рисунок А12 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 13.08.2015г.

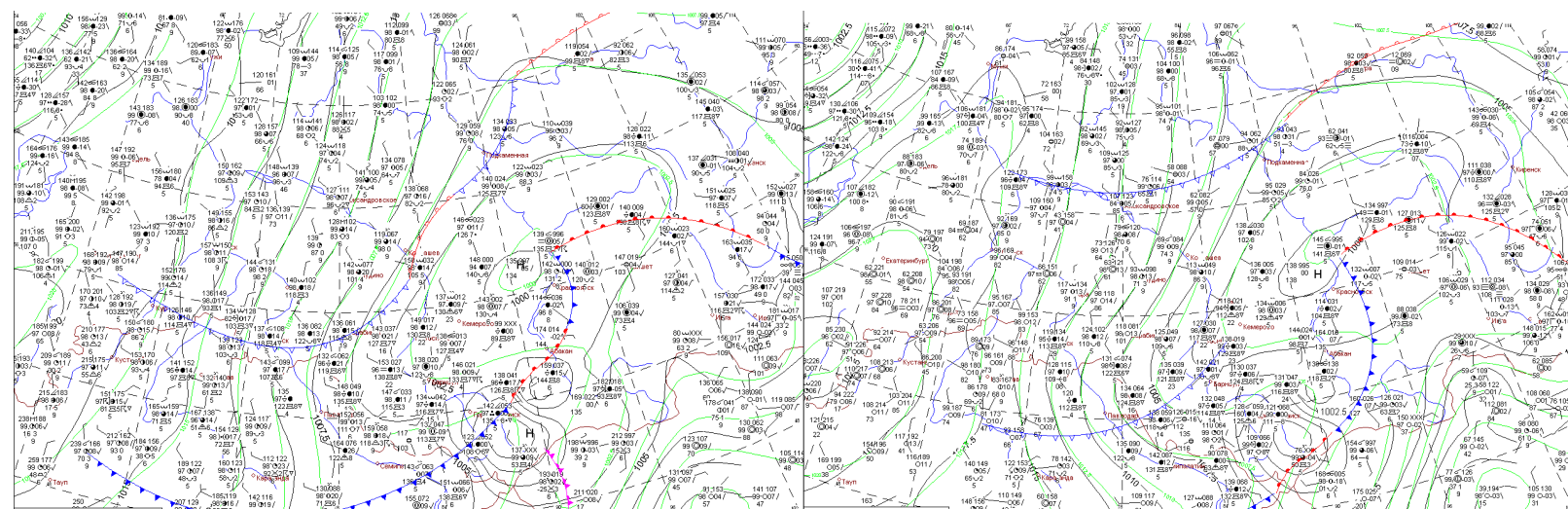


Рисунок А13 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 14.08.2015г.

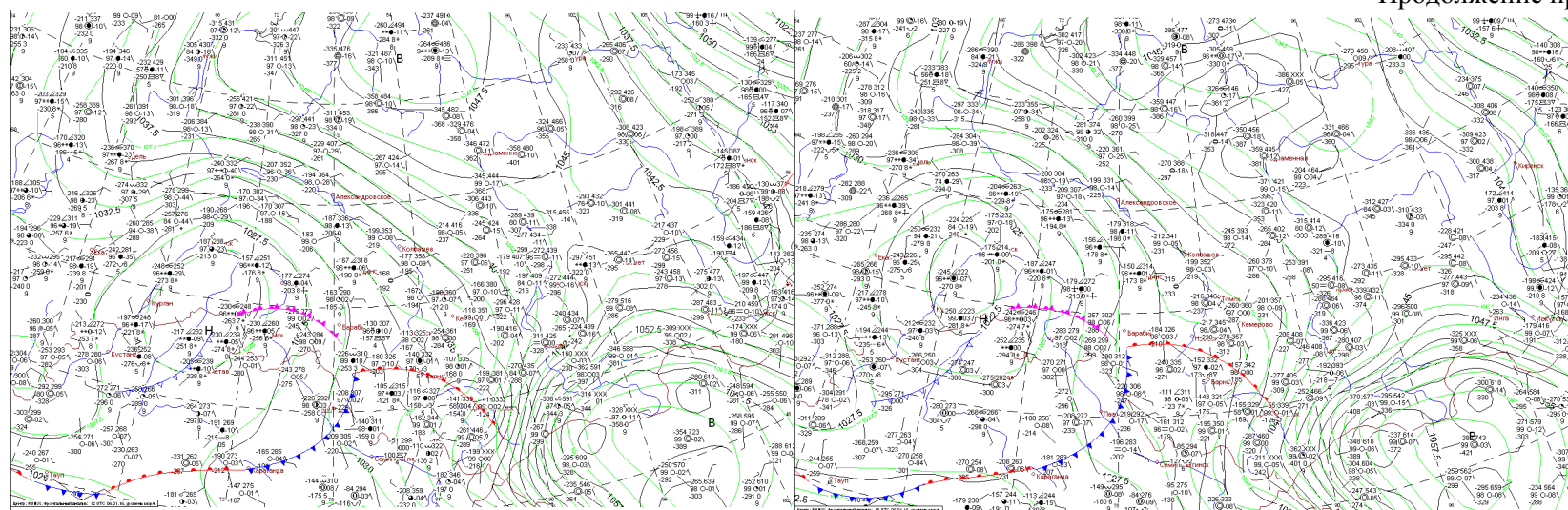


Рисунок А14 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 07.01.2016г.

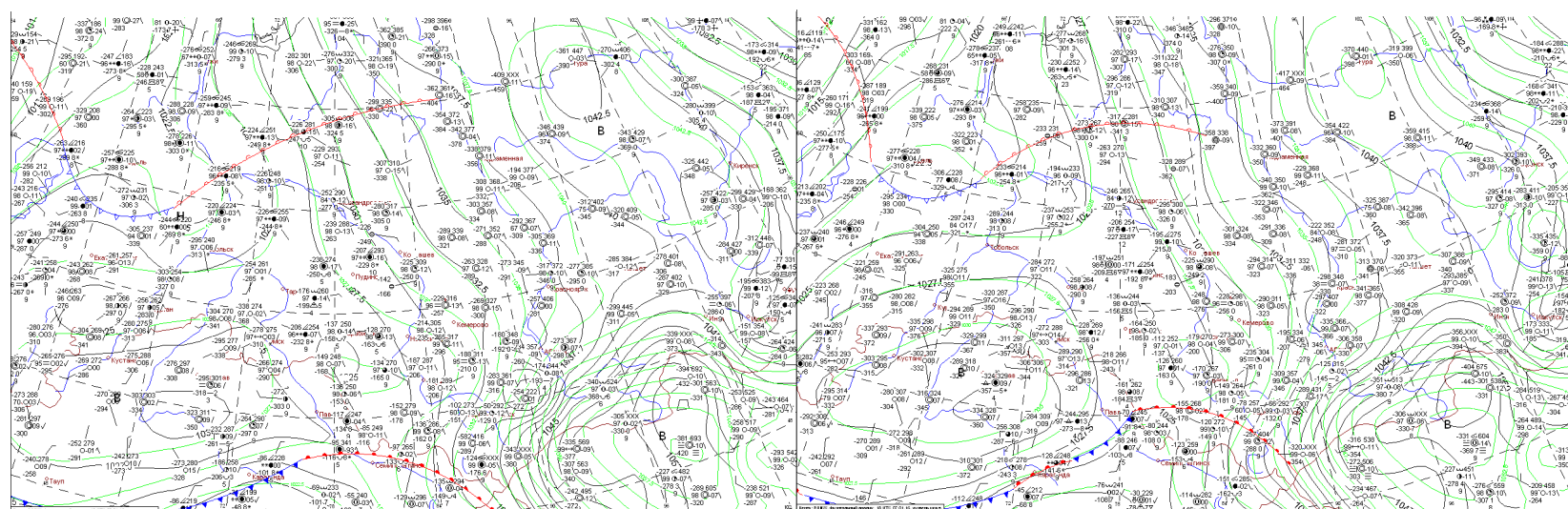


Рисунок А15 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 08.01.2016г.

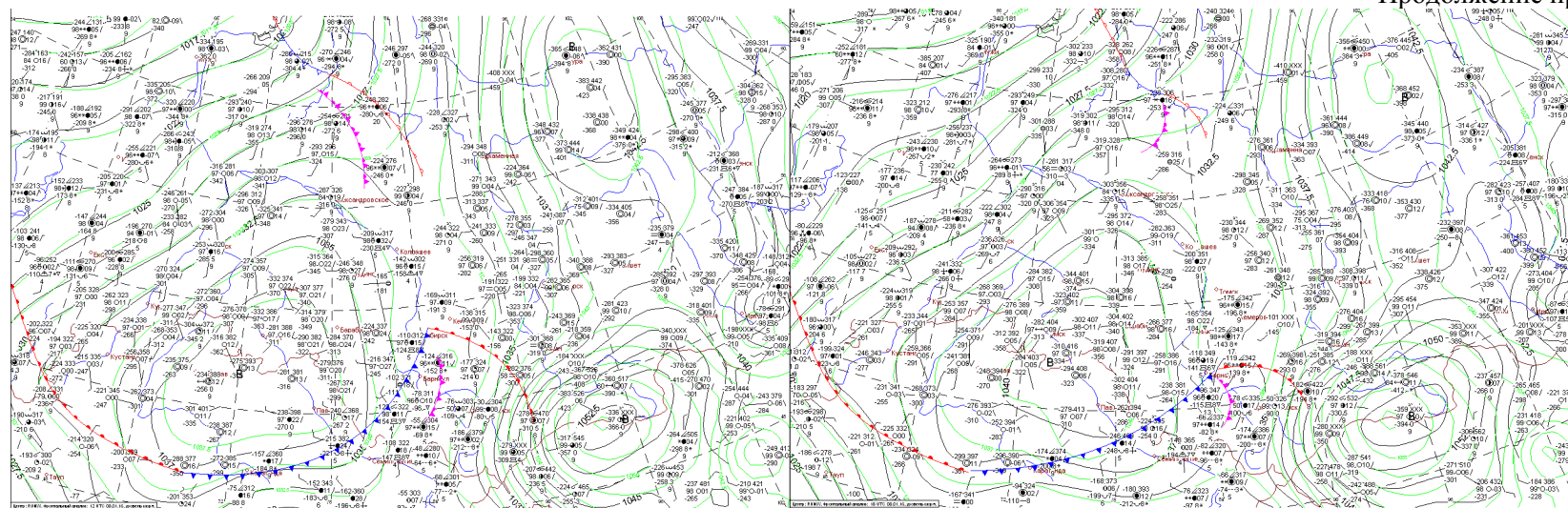


Рисунок A16 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 09.01.2016г.

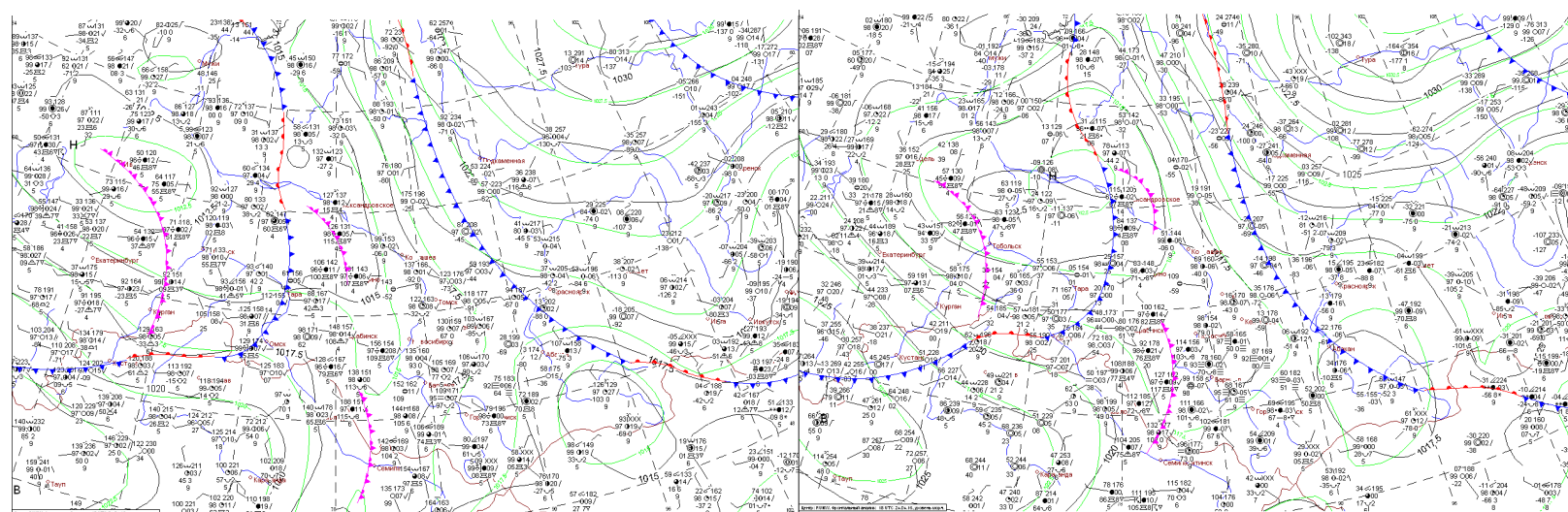


Рисунок A17 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 25.04.2016г.

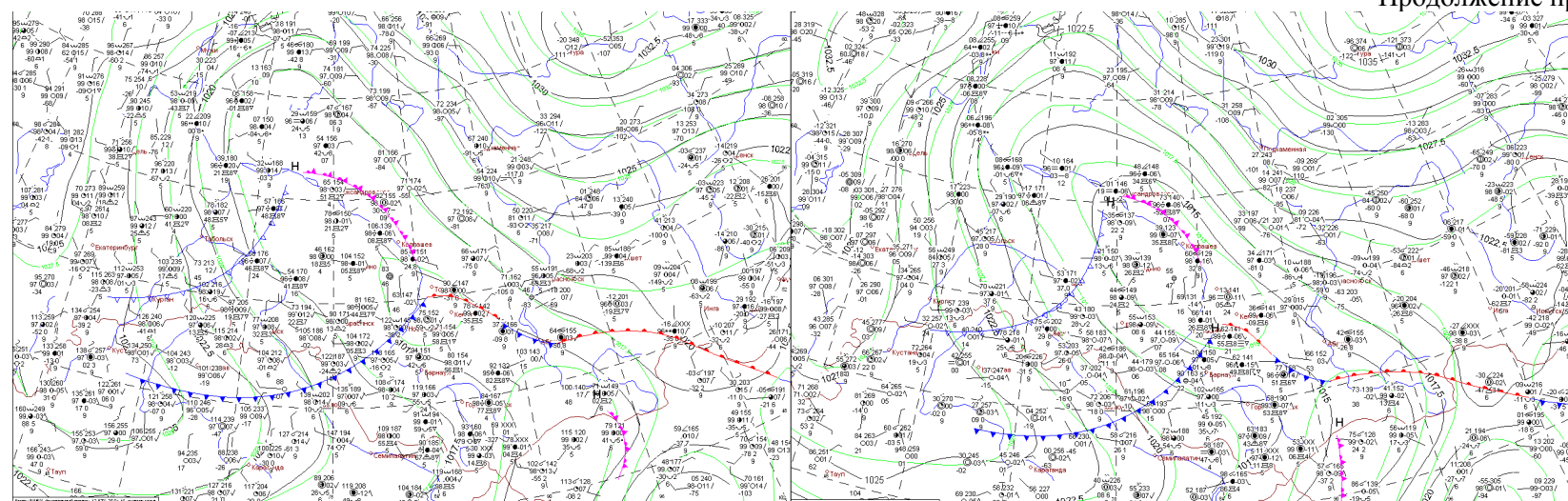


Рисунок A18 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 26.04.2016г.

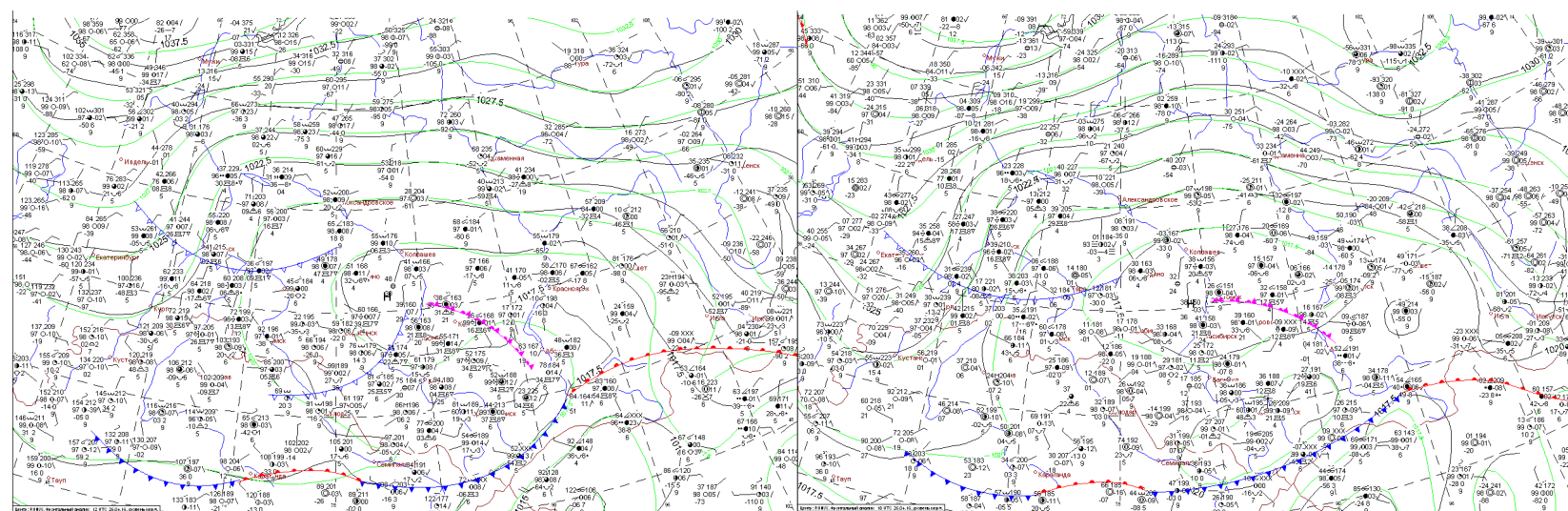


Рисунок A19 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 27.04.2016г.

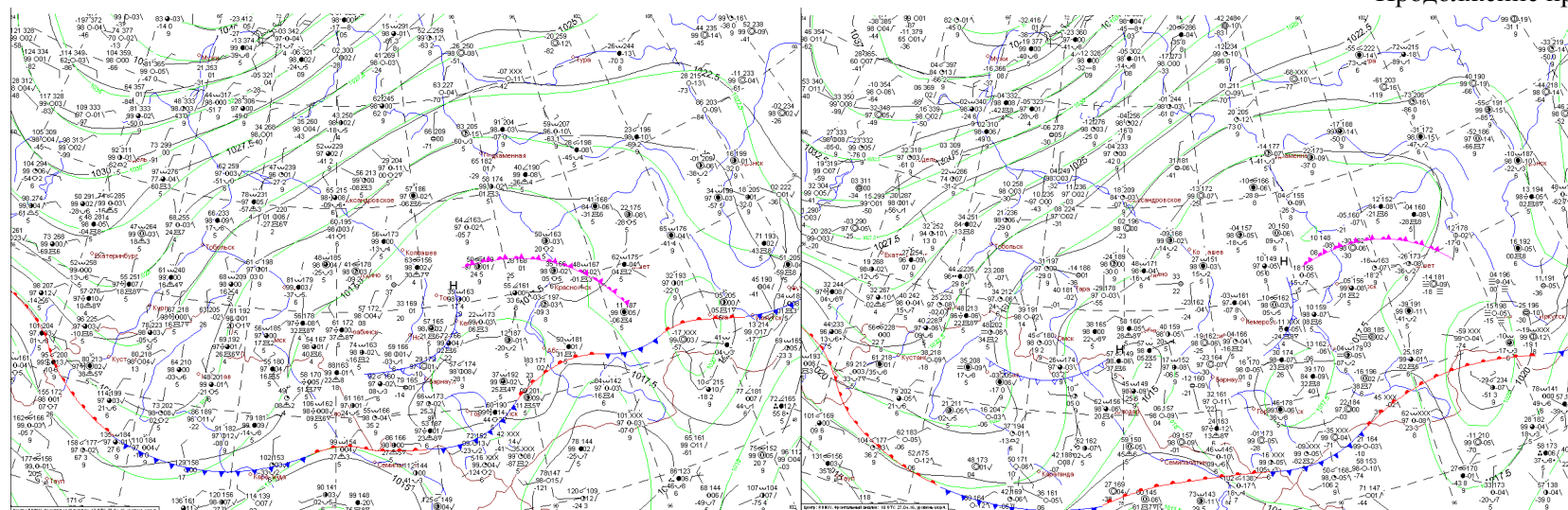


Рисунок А20 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 28.04.2016г.

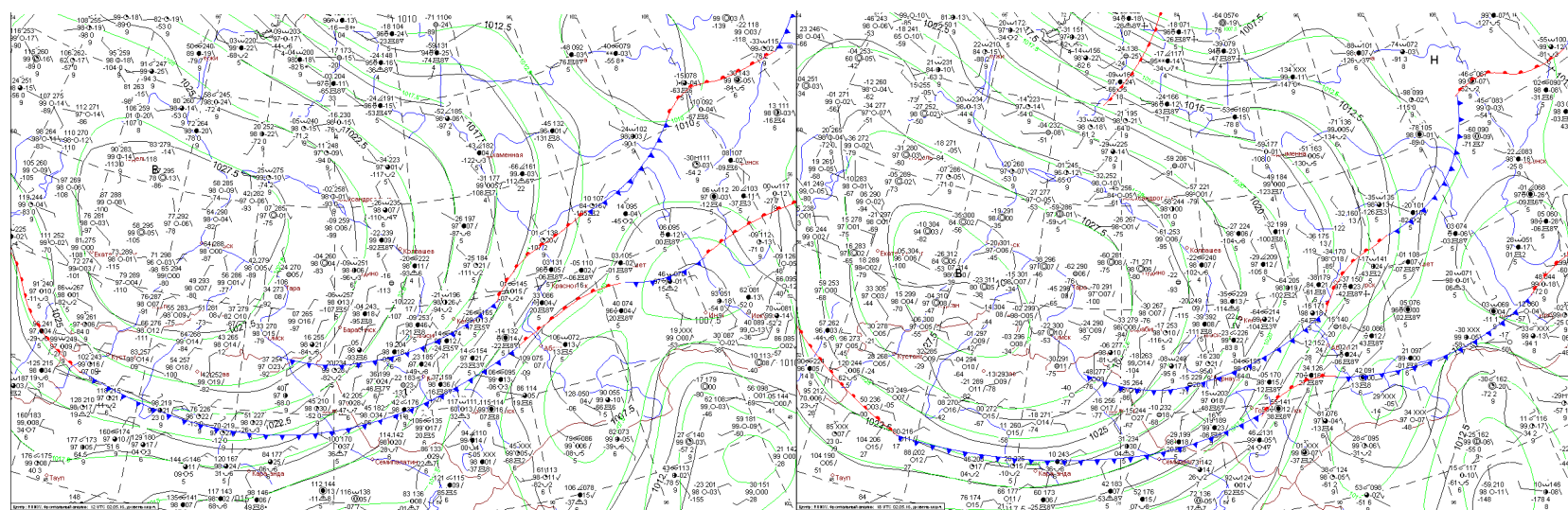


Рисунок А21 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 02.05.2016г.

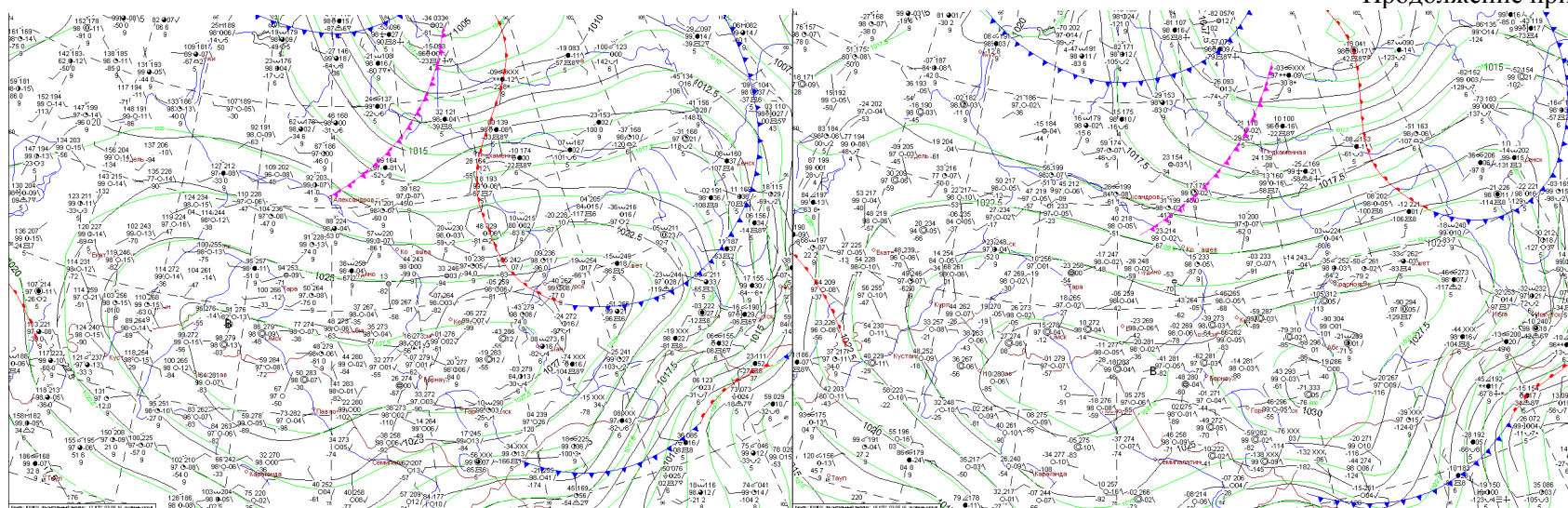


Рисунок A22 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 03.05.2016г.

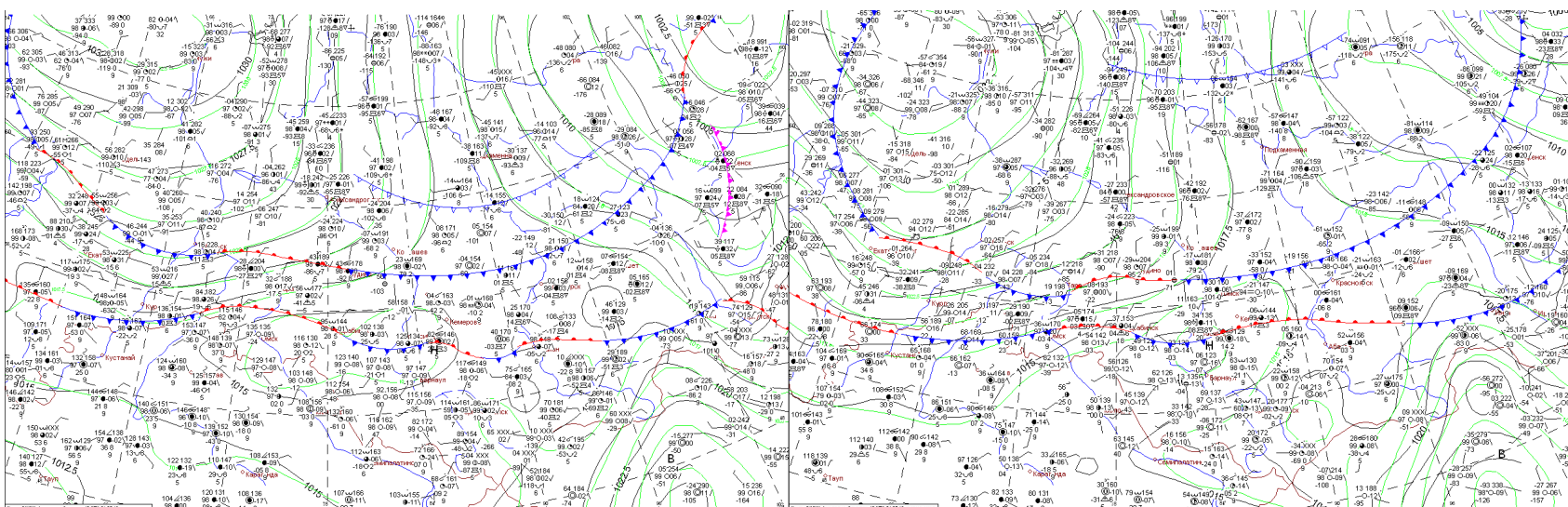


Рисунок A23 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 04.05.2016г.

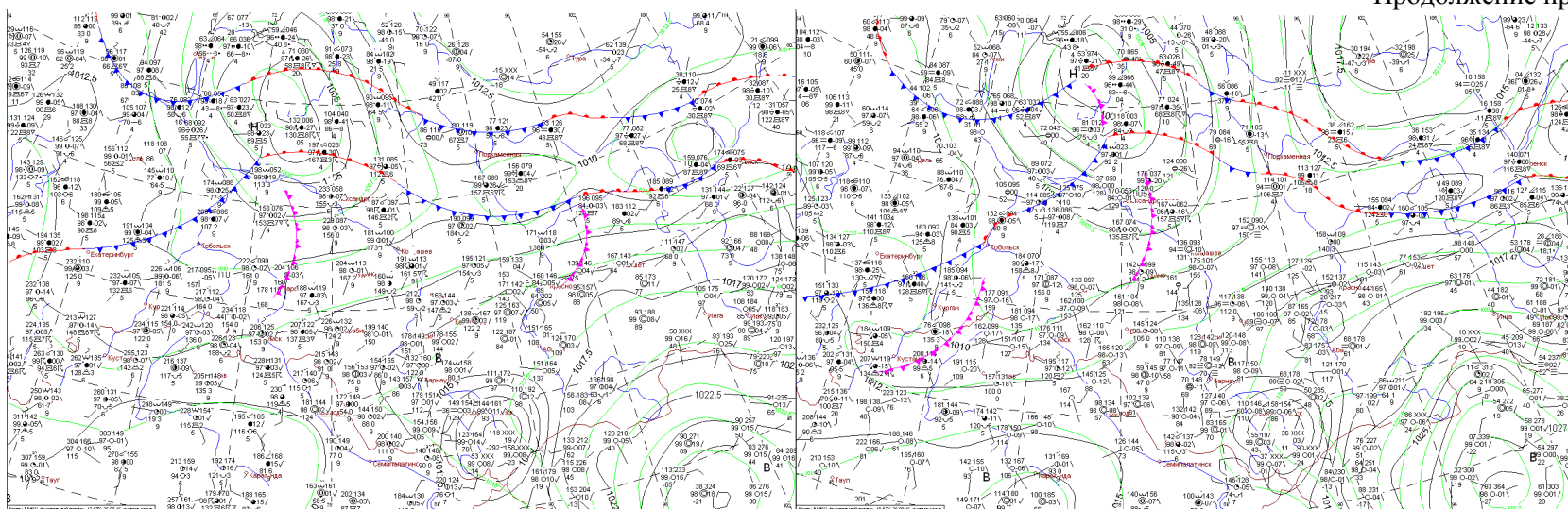


Рисунок А24 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 27.08.2016г.

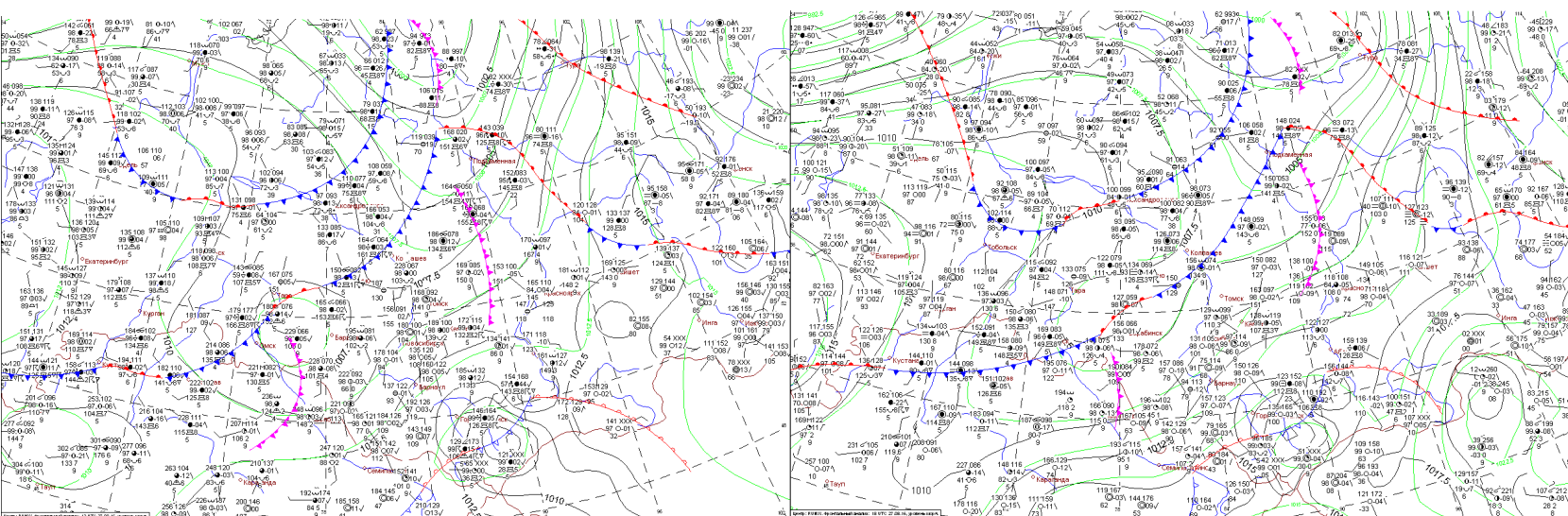


Рисунок А25 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 28.08.2016г.

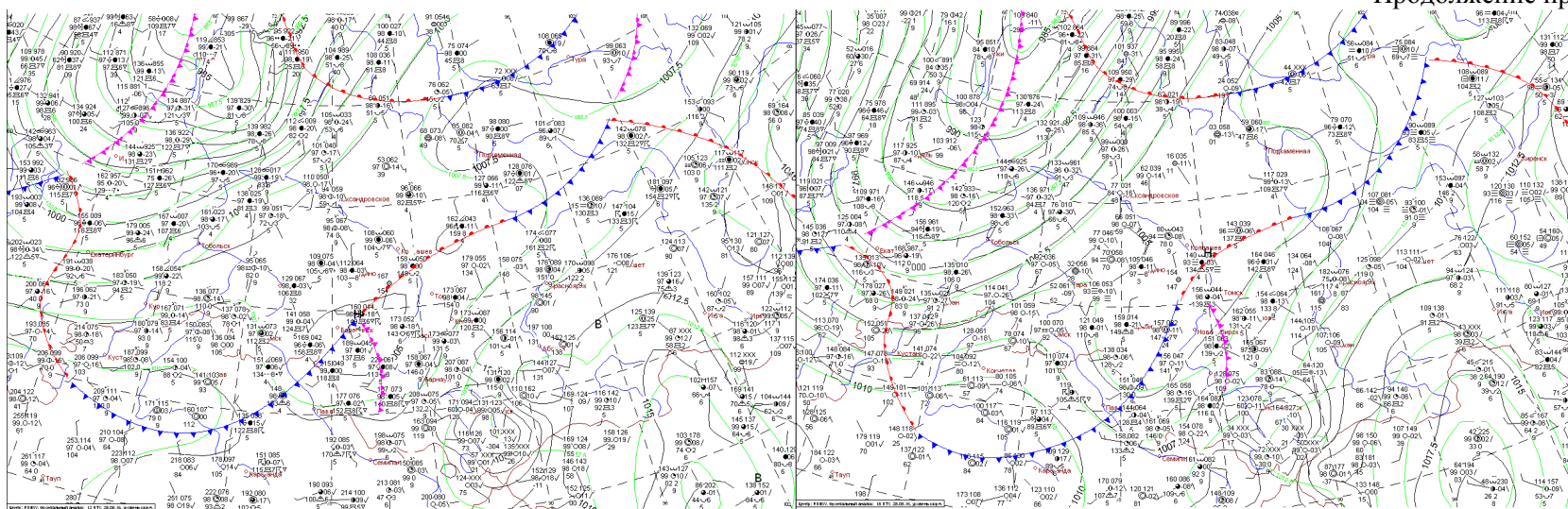


Рисунок A25 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСУ 29.08.2016г.

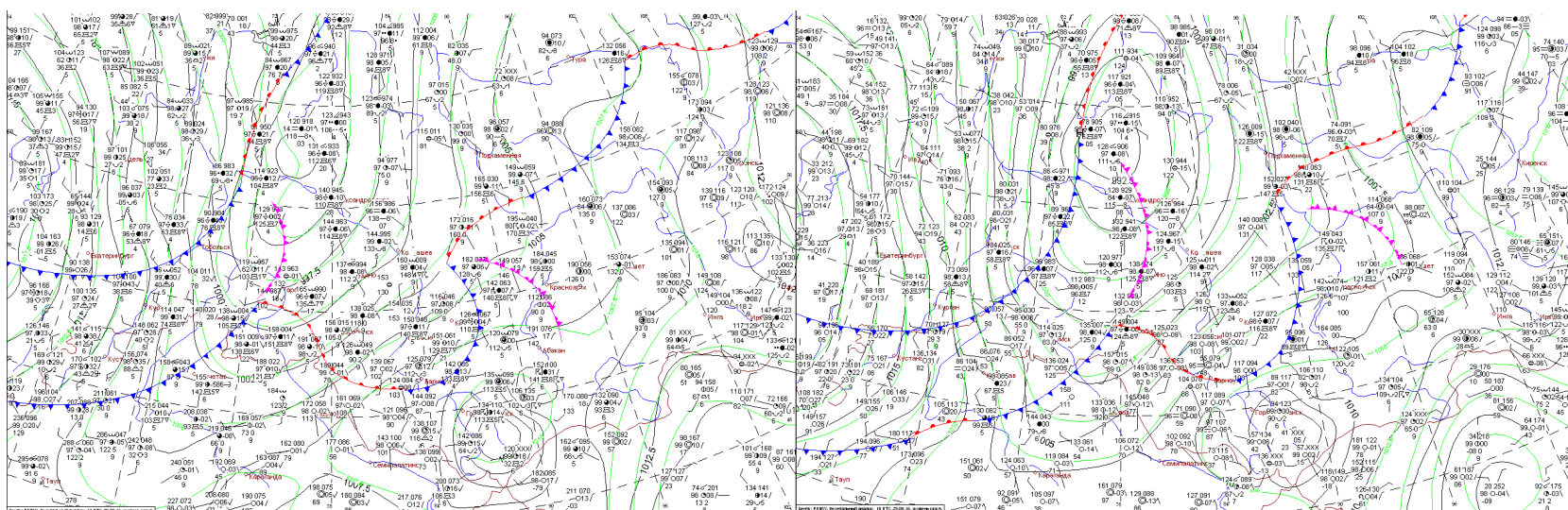


Рисунок A26 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСУ 30.08.2016г.

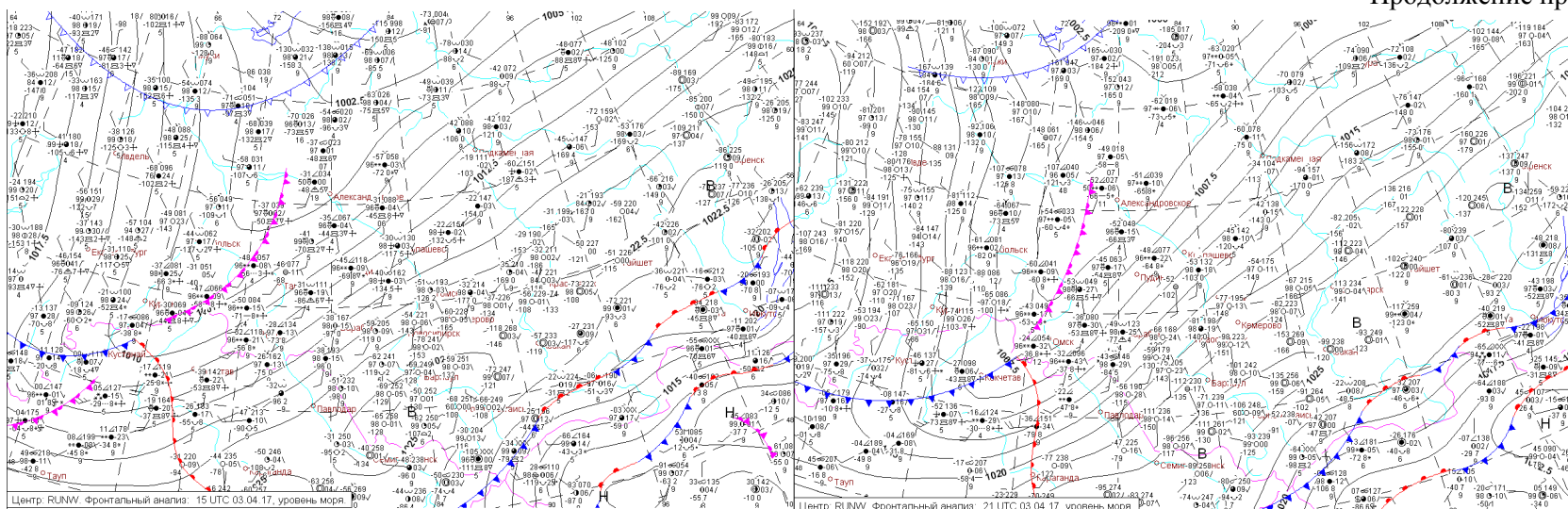


Рисунок А27 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 04.04.2017г.

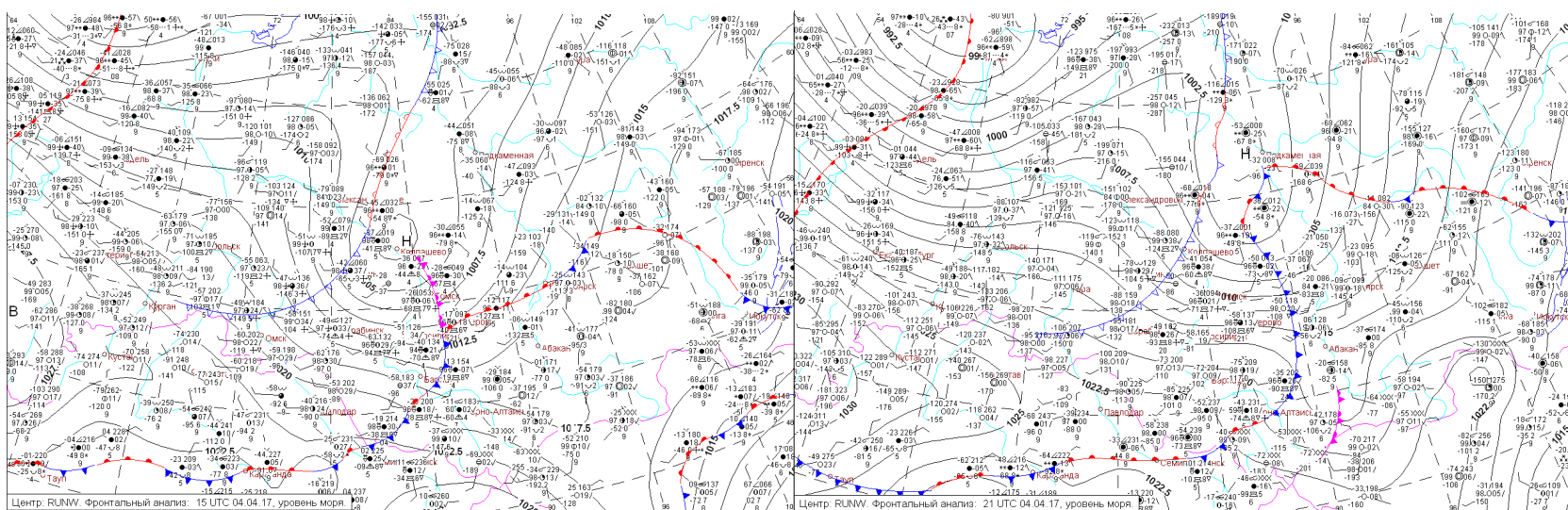


Рисунок А28 – Кольцевые карты погоды над территорией центральных районов Западной Сибири за сроки 15 и 21 ВСВ 05.04.2017г.

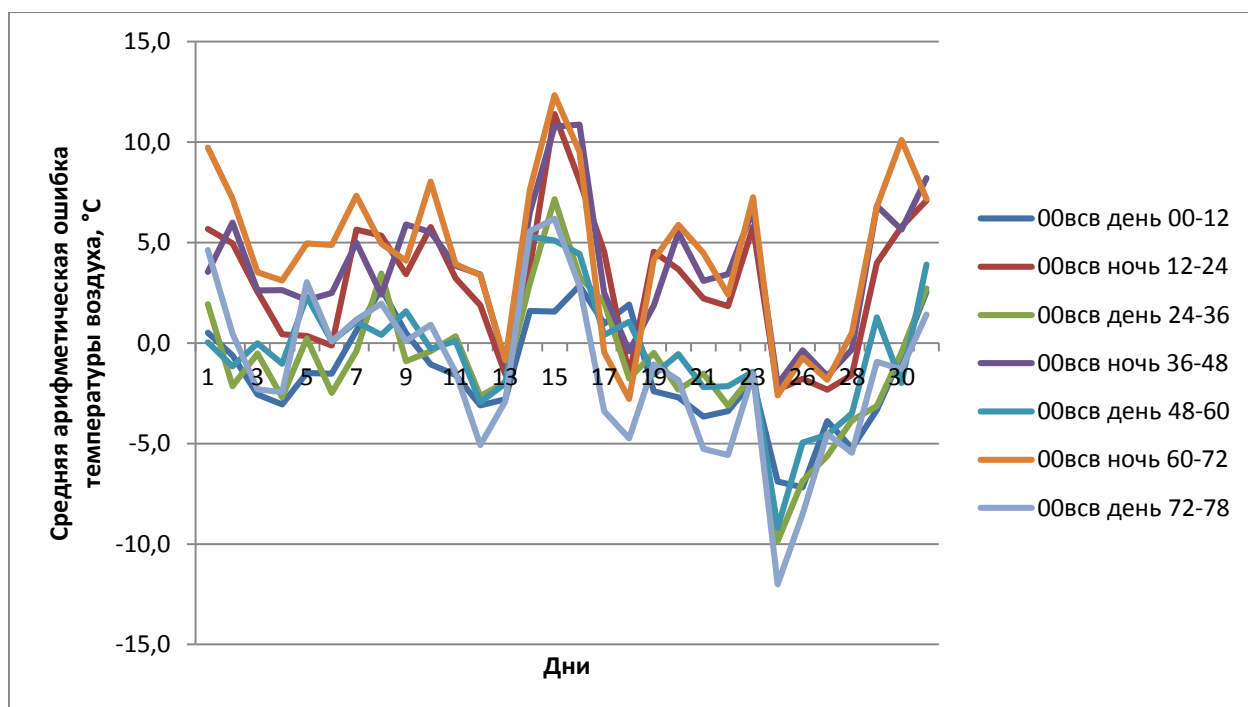


Рисунок Б1 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за январь по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

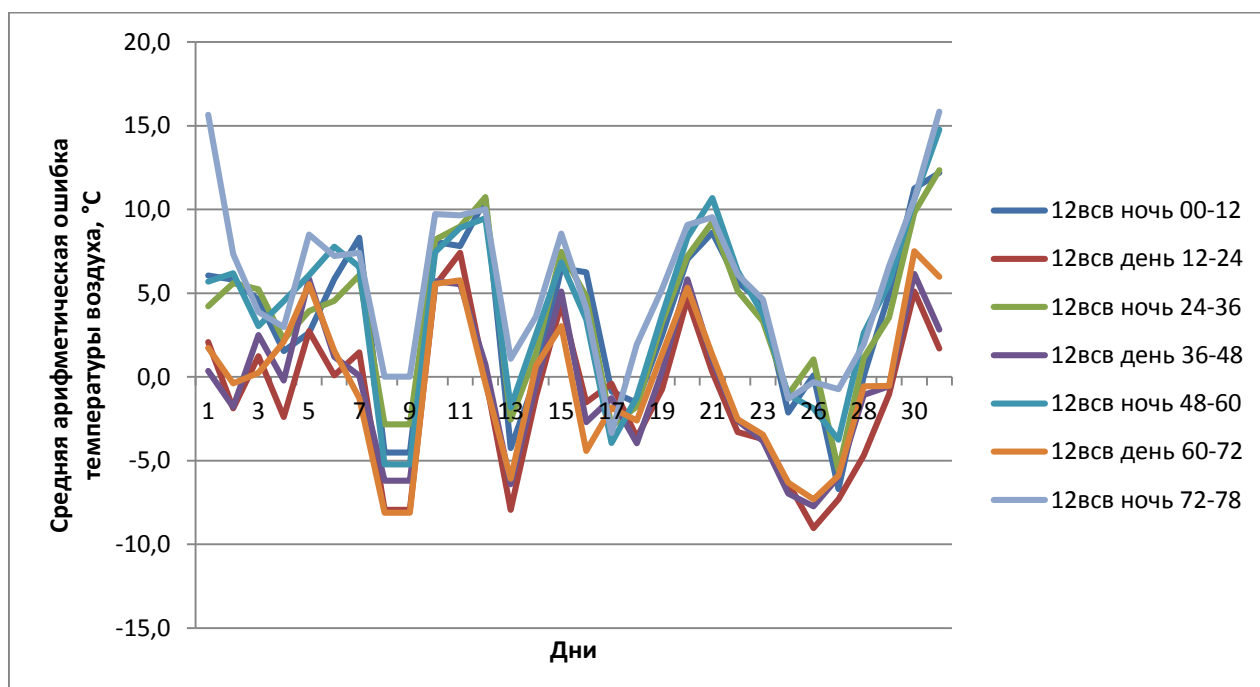


Рисунок Б2 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за январь по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

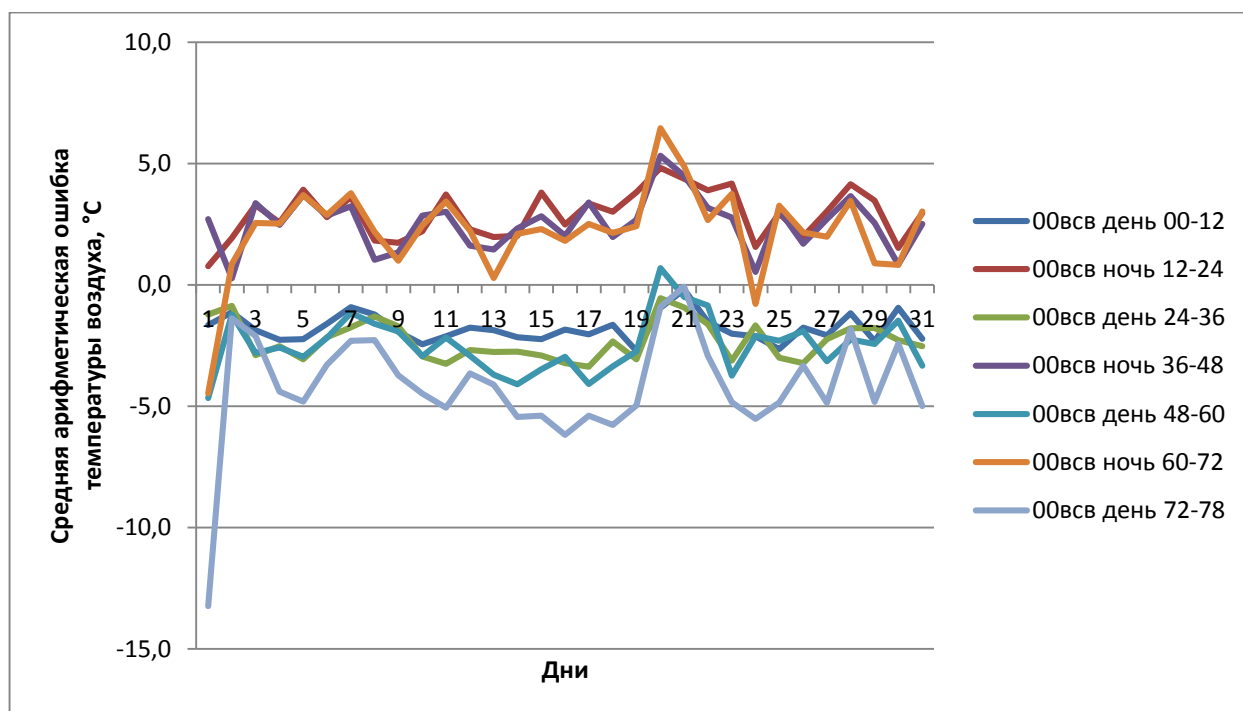


Рисунок Б3 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за август по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

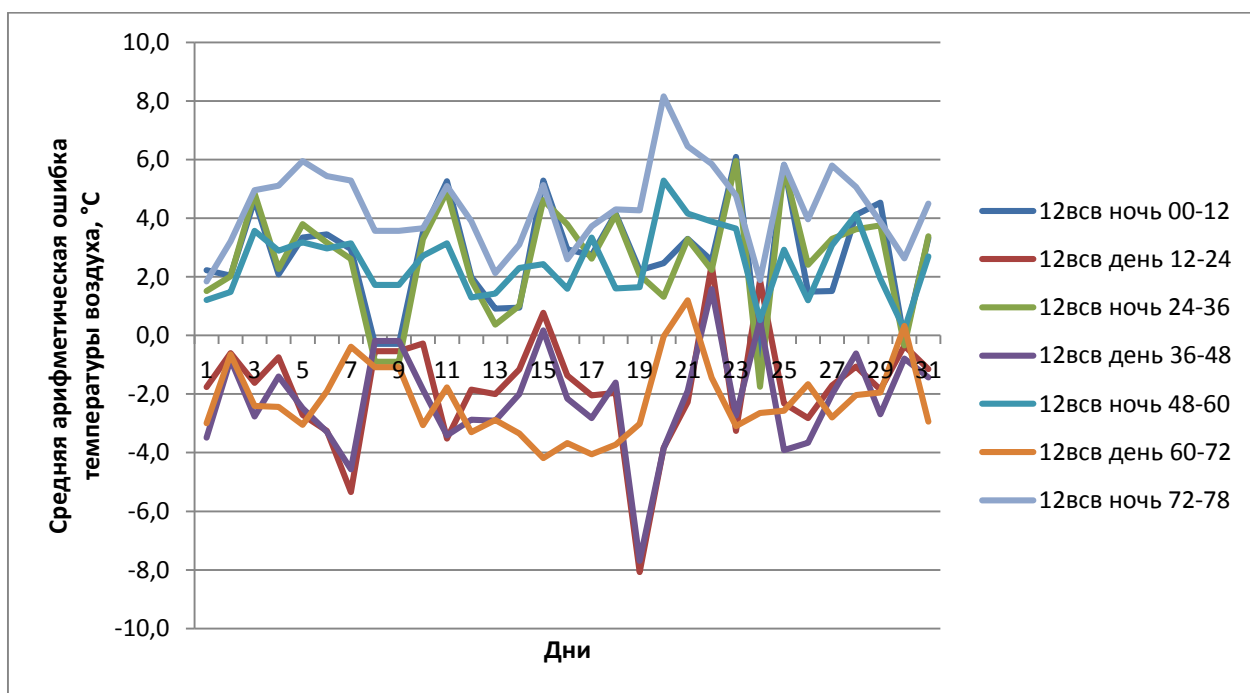


Рисунок Б4 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за август по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

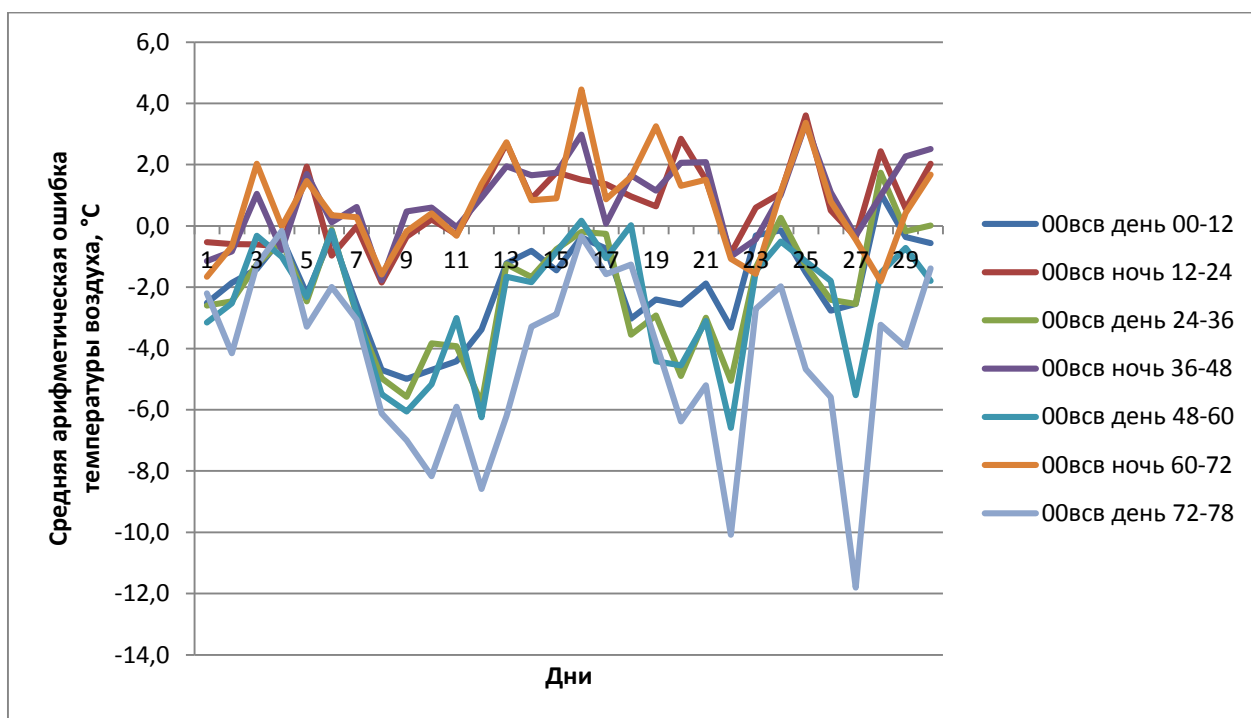


Рисунок Б5 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за апрель по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

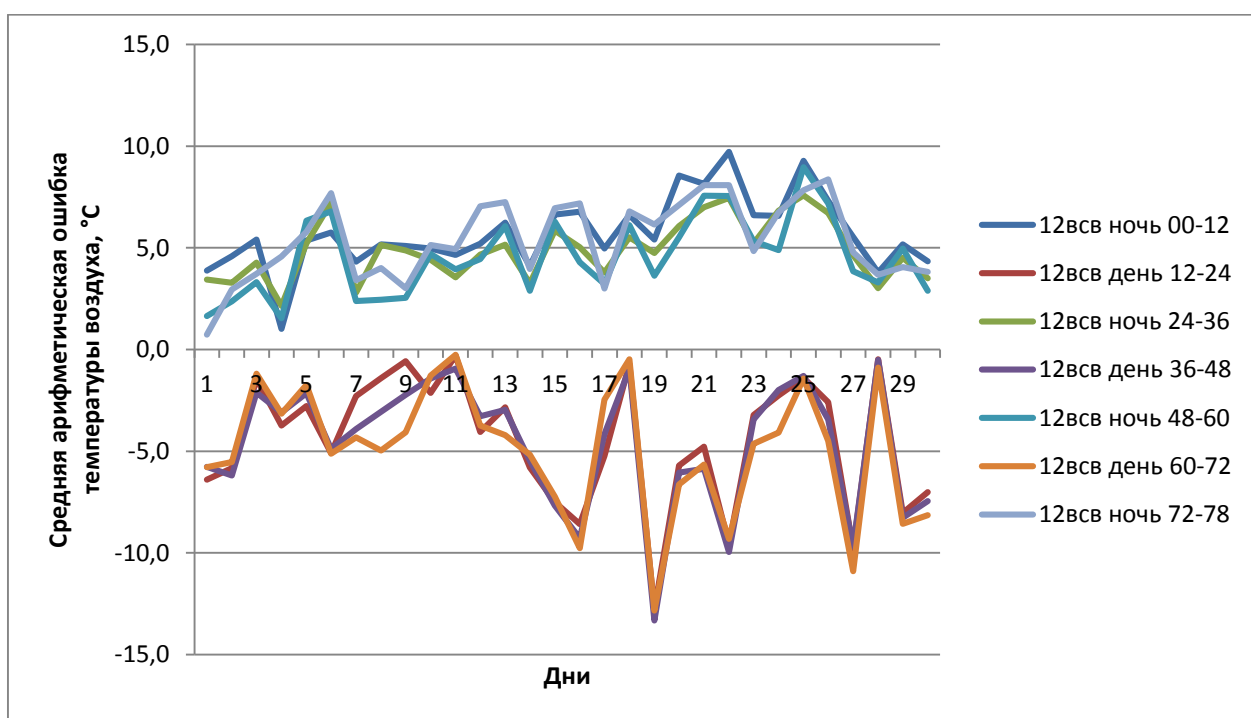


Рисунок Б6 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за апрель по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

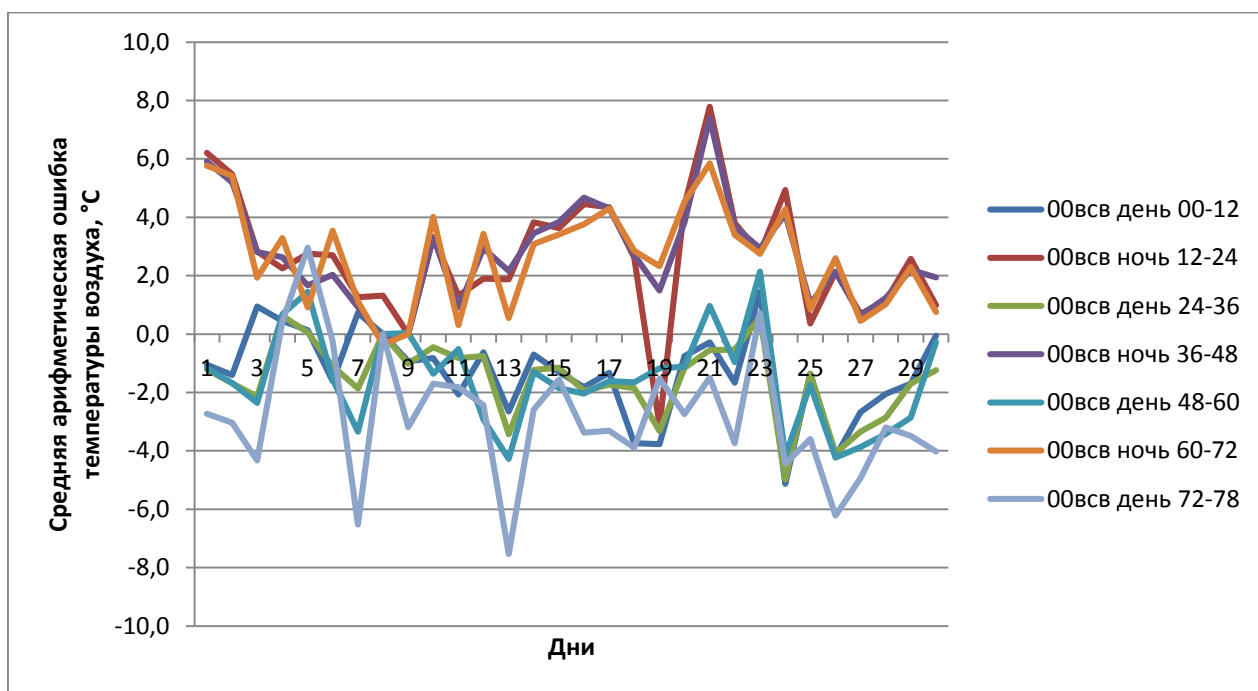


Рисунок Б7 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за июль по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

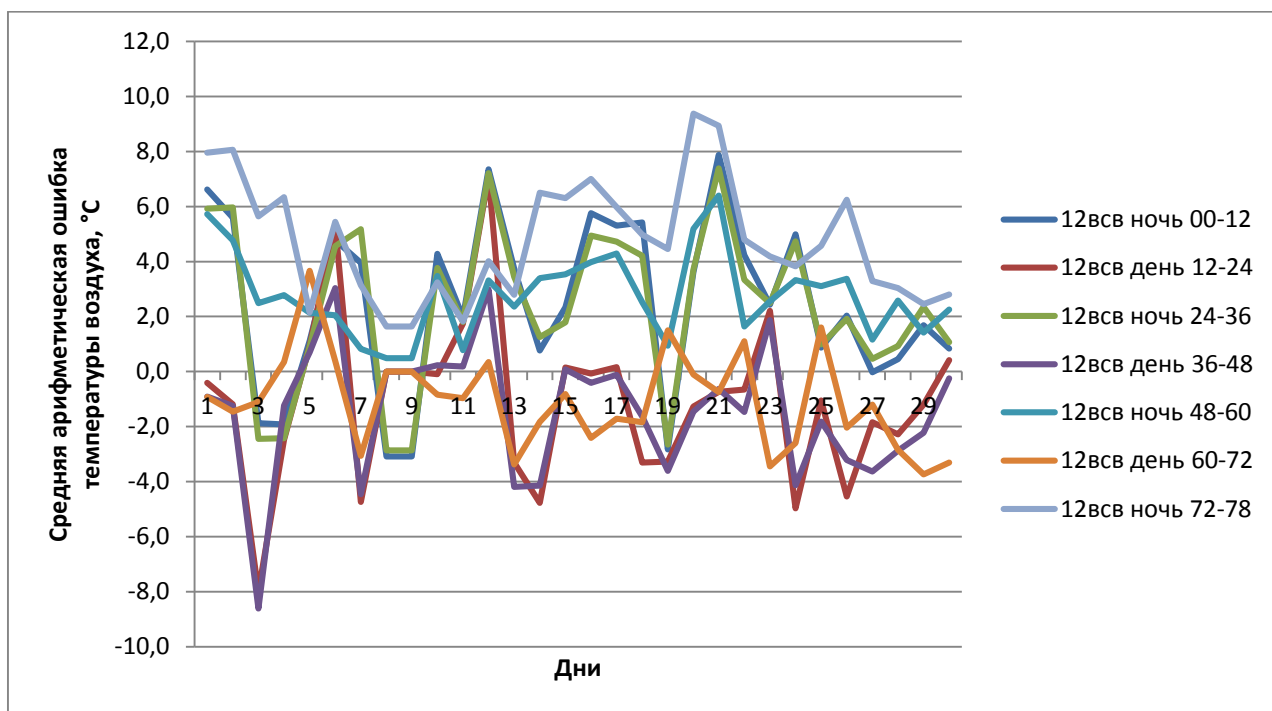


Рисунок Б8 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за июль по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

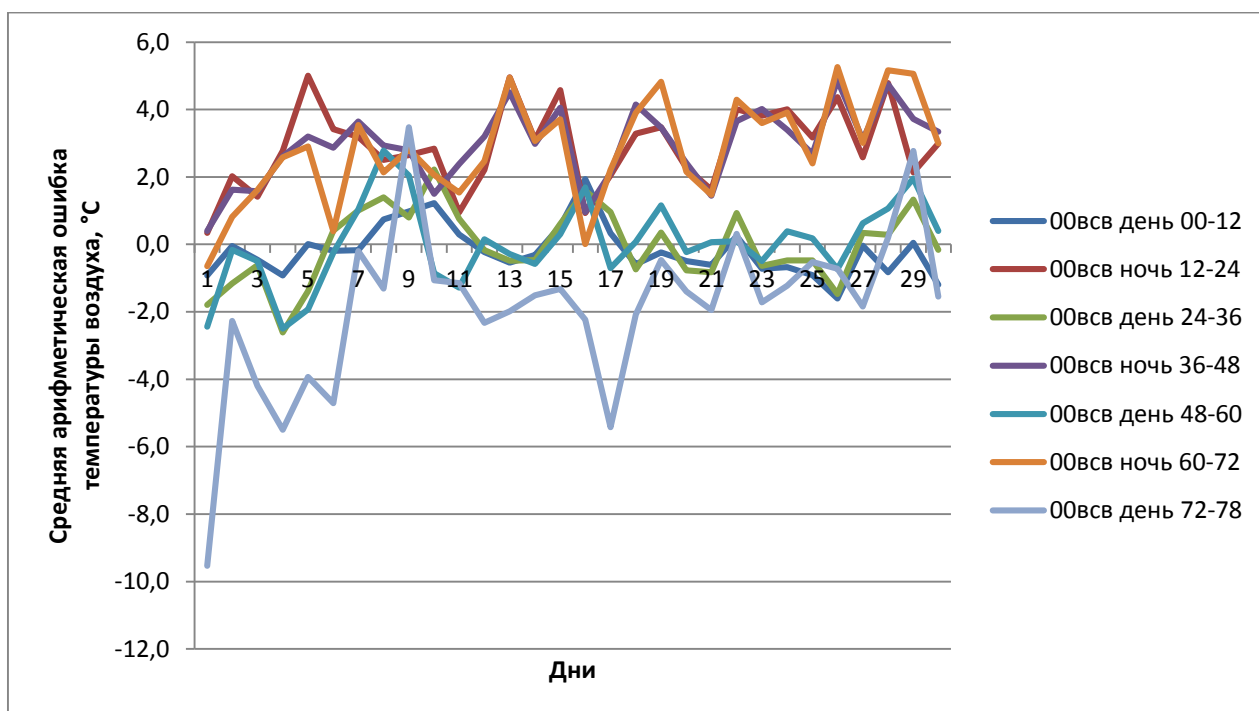


Рисунок Б9 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за май по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

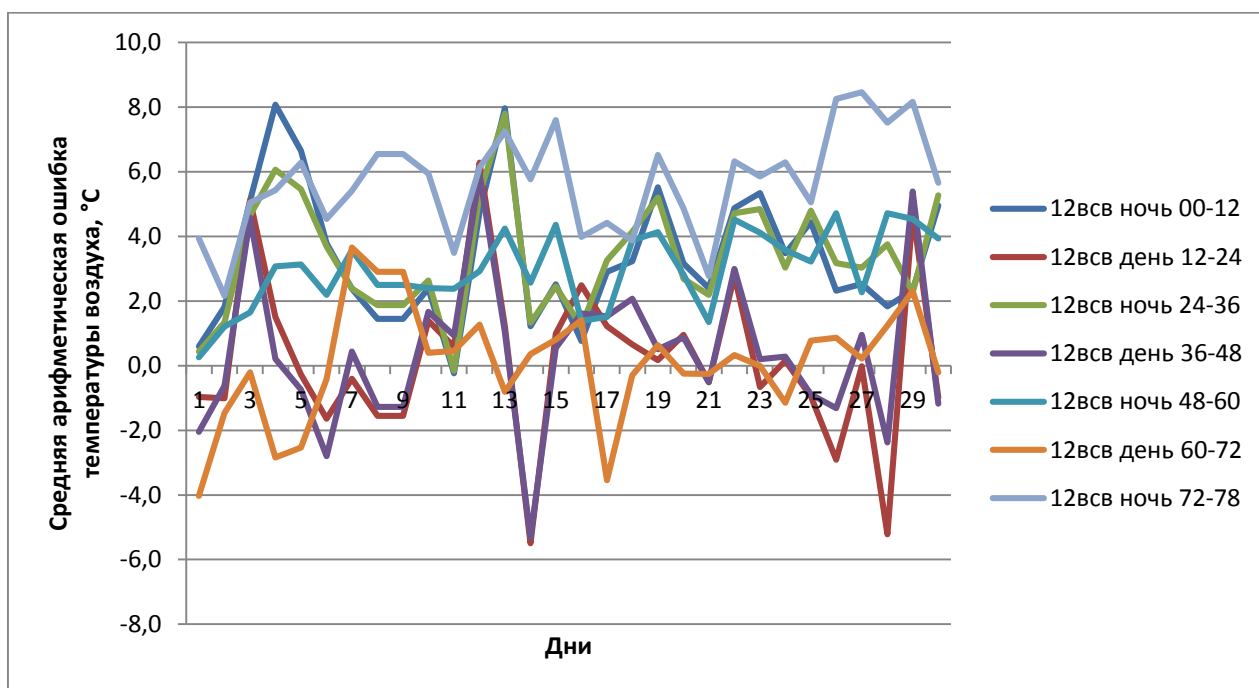


Рисунок Б10 – Средняя арифметическая ошибка температуры воздуха за май по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

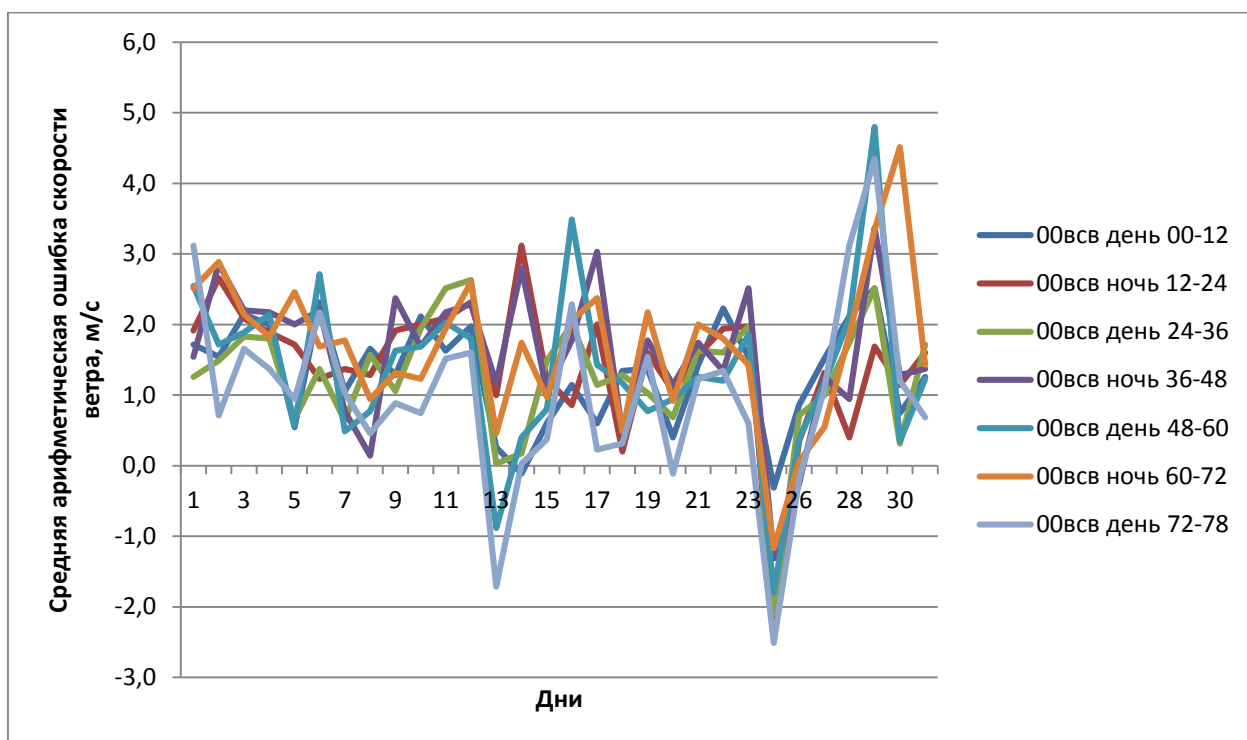


Рисунок Б11 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за январь по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

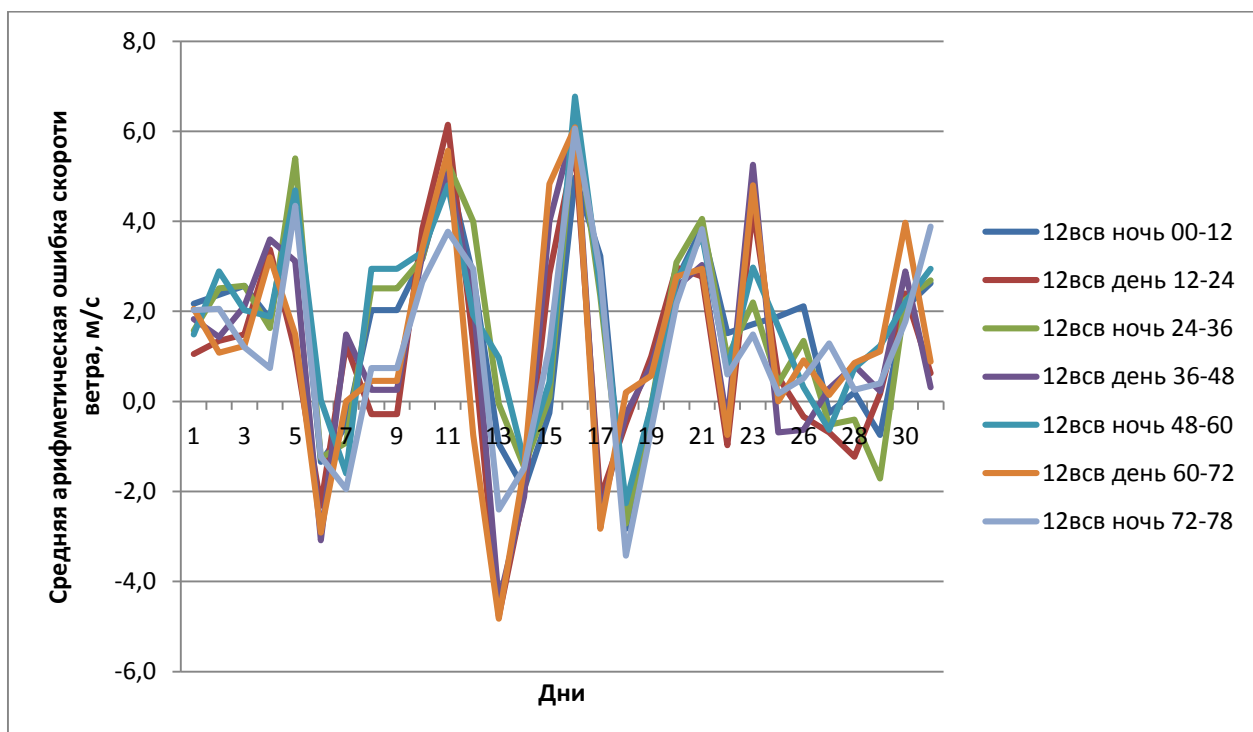


Рисунок Б12 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за январь по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

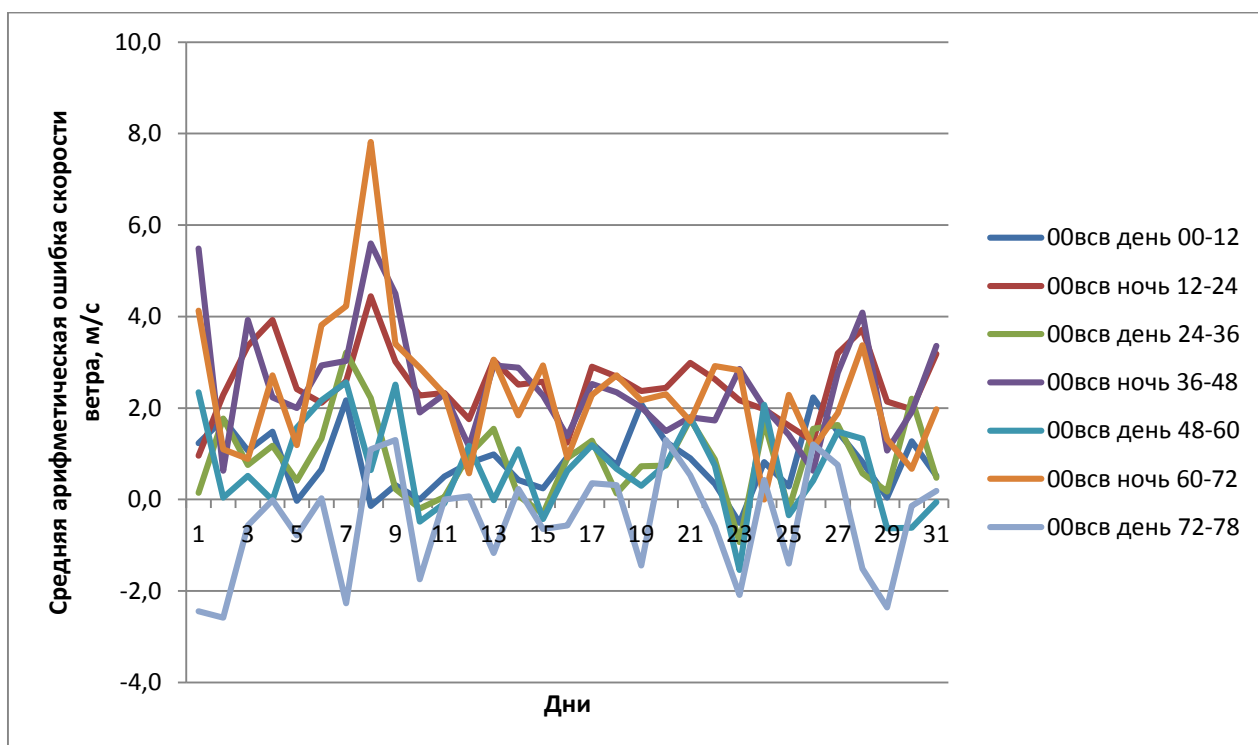


Рисунок Б13 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за август по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

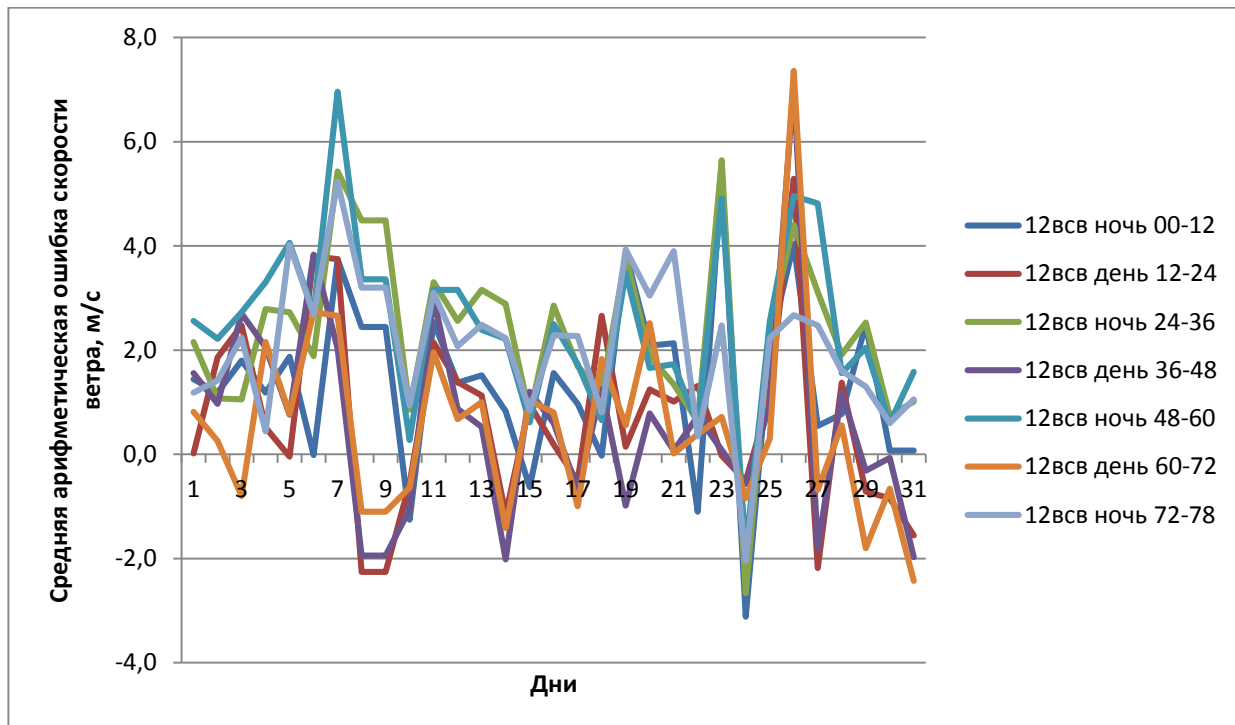


Рисунок Б14 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за август по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

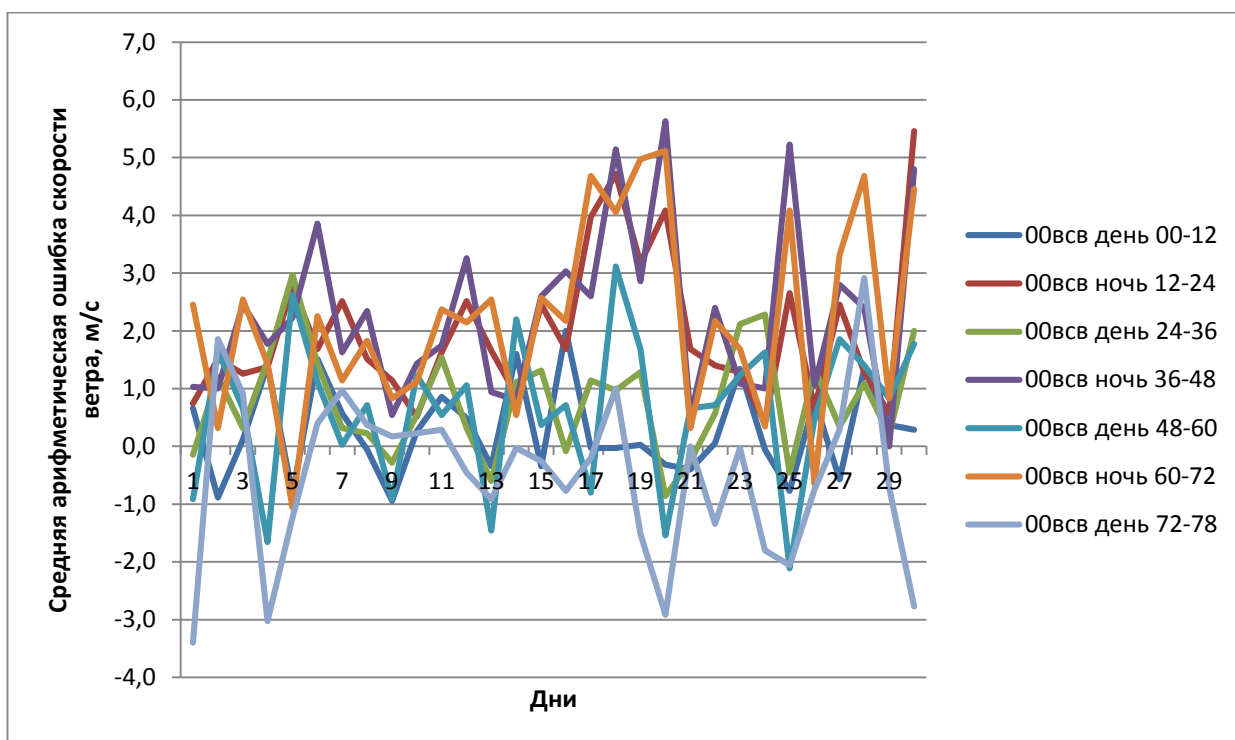


Рисунок Б15 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за апрель по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

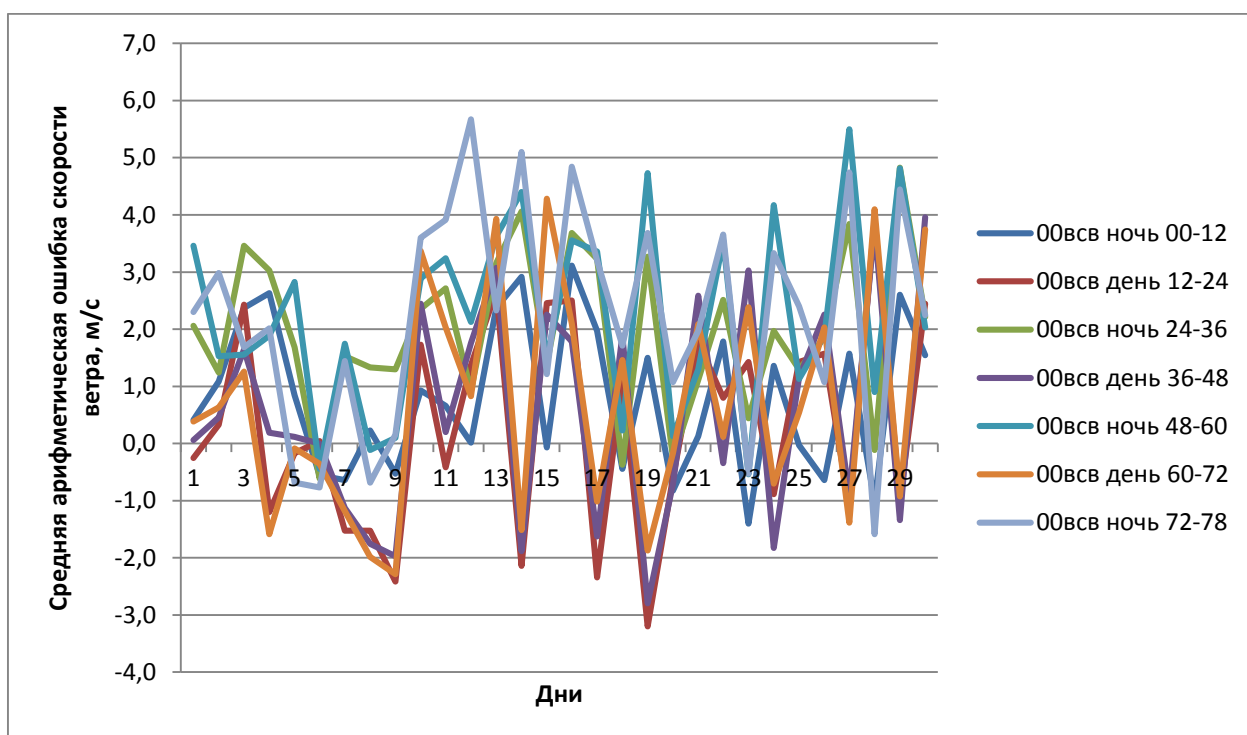


Рисунок Б16 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за апрель по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

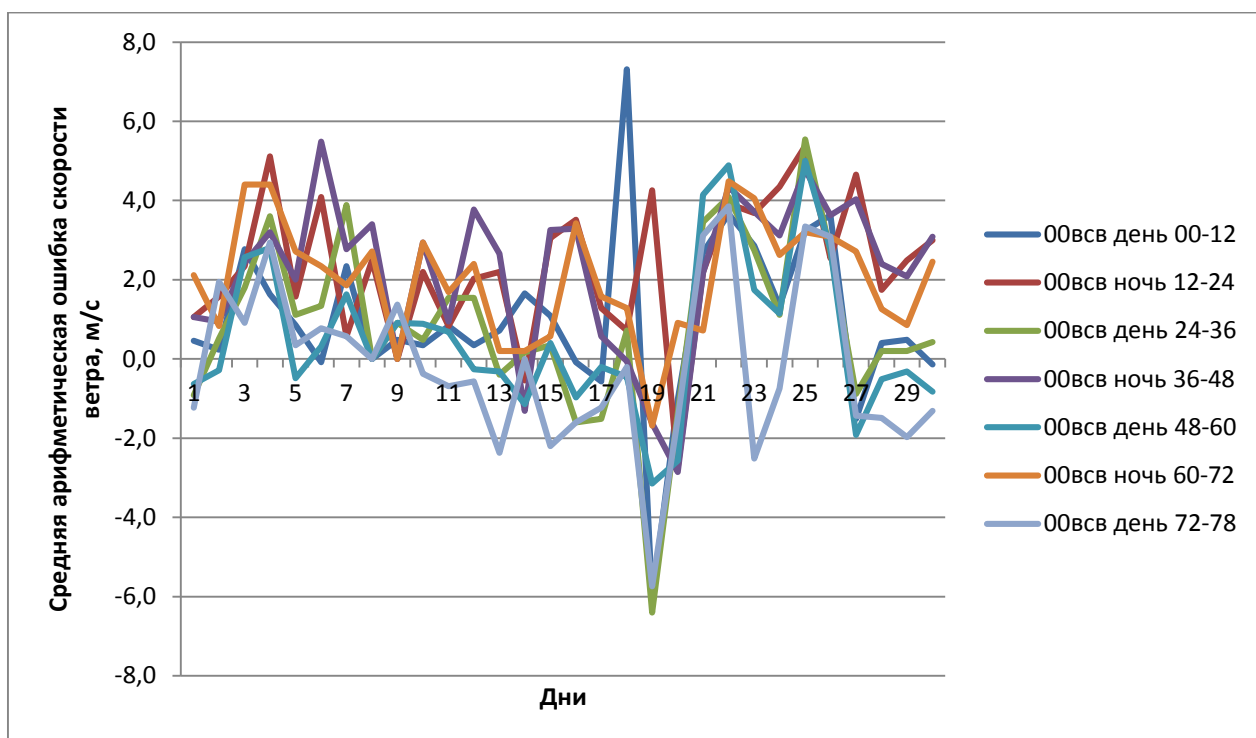


Рисунок Б17 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за июль по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

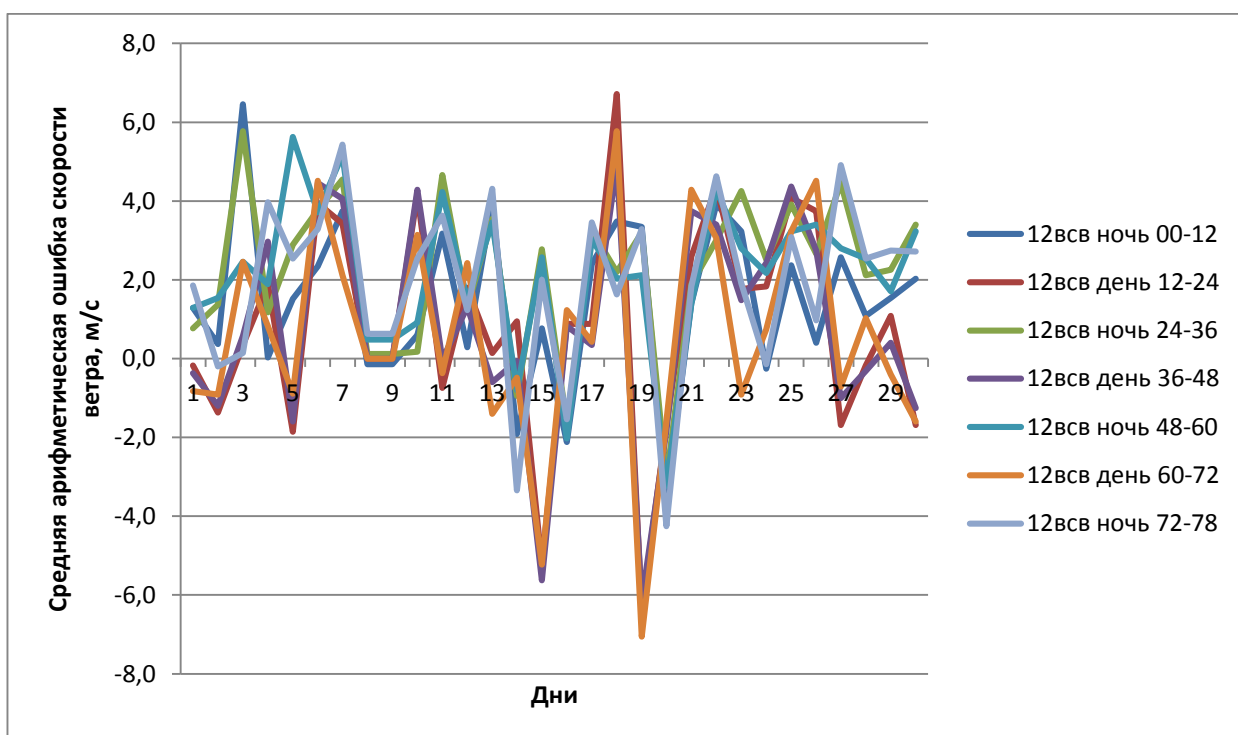


Рисунок Б18 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за июль по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

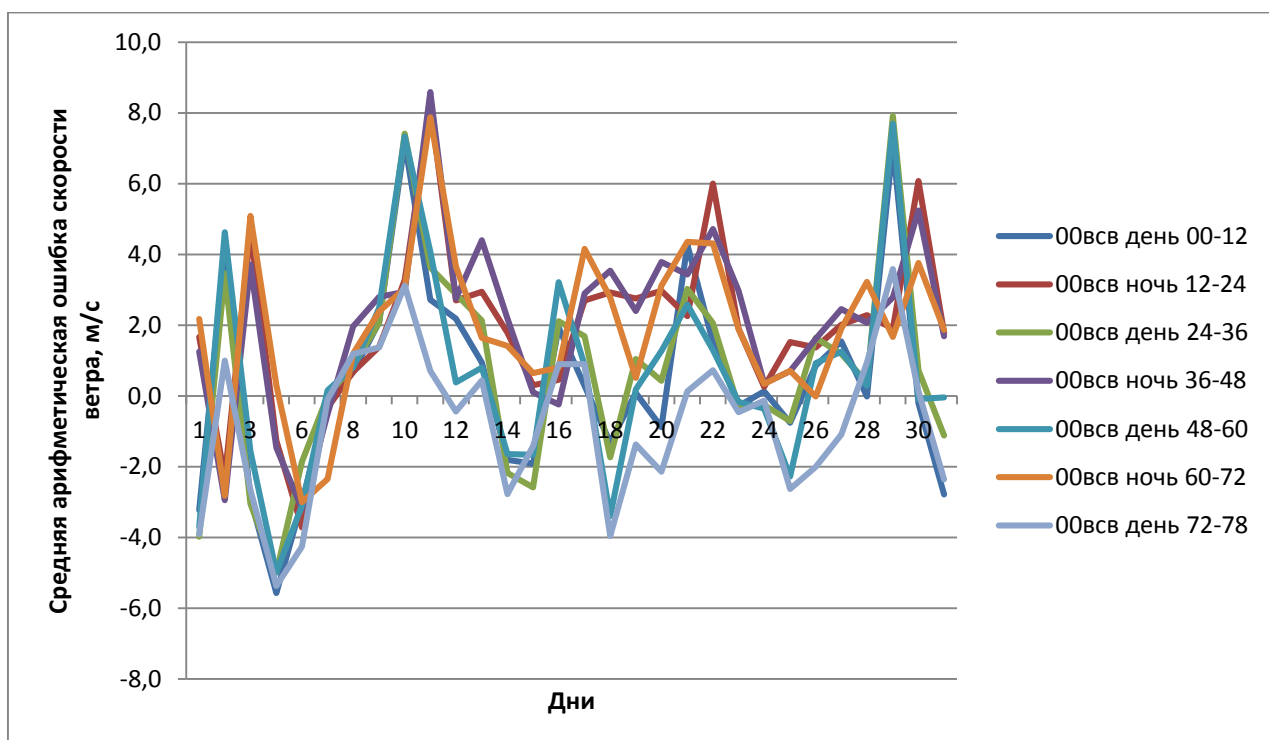


Рисунок Б19 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за май по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ

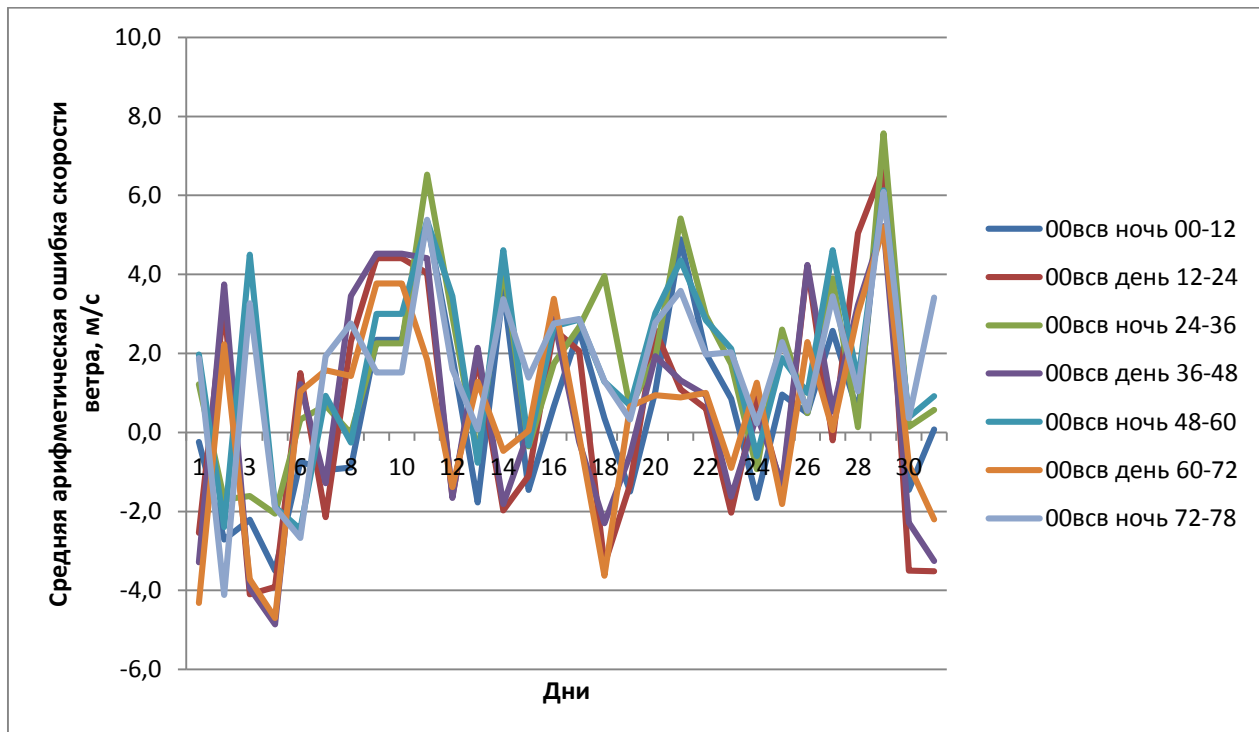


Рисунок Б20 – Средняя арифметическая ошибка скорости ветра за май по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ

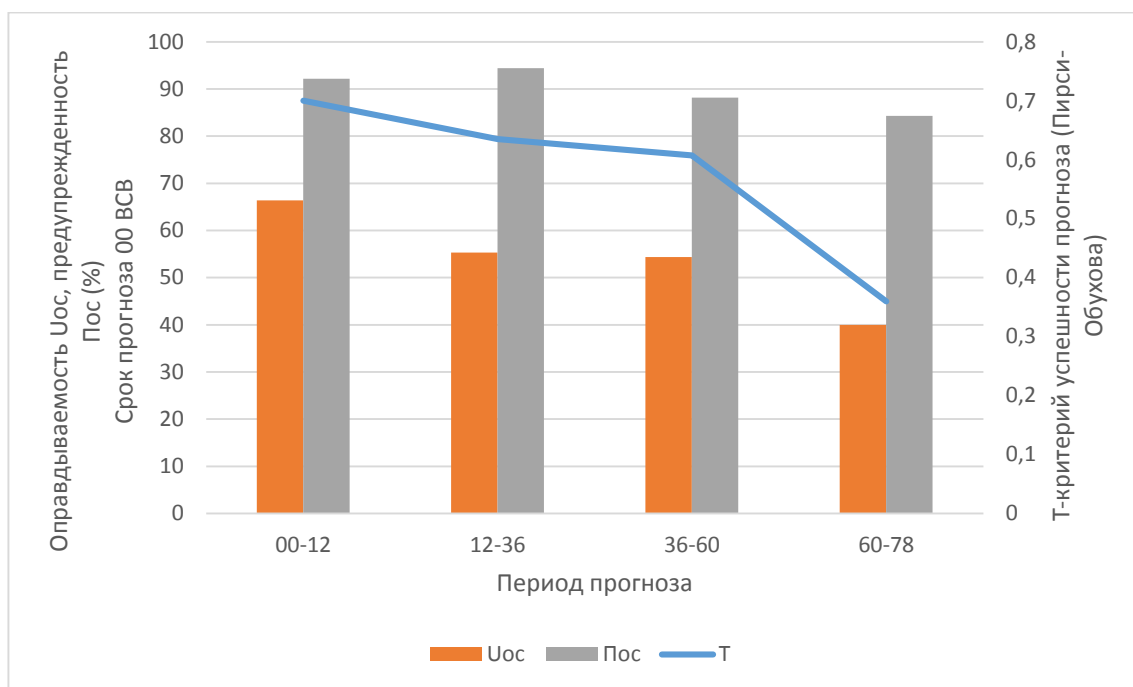


Рисунок В1 – Характеристики успешности прогноза осадков для августа за расчетный срок 00 ВСВ

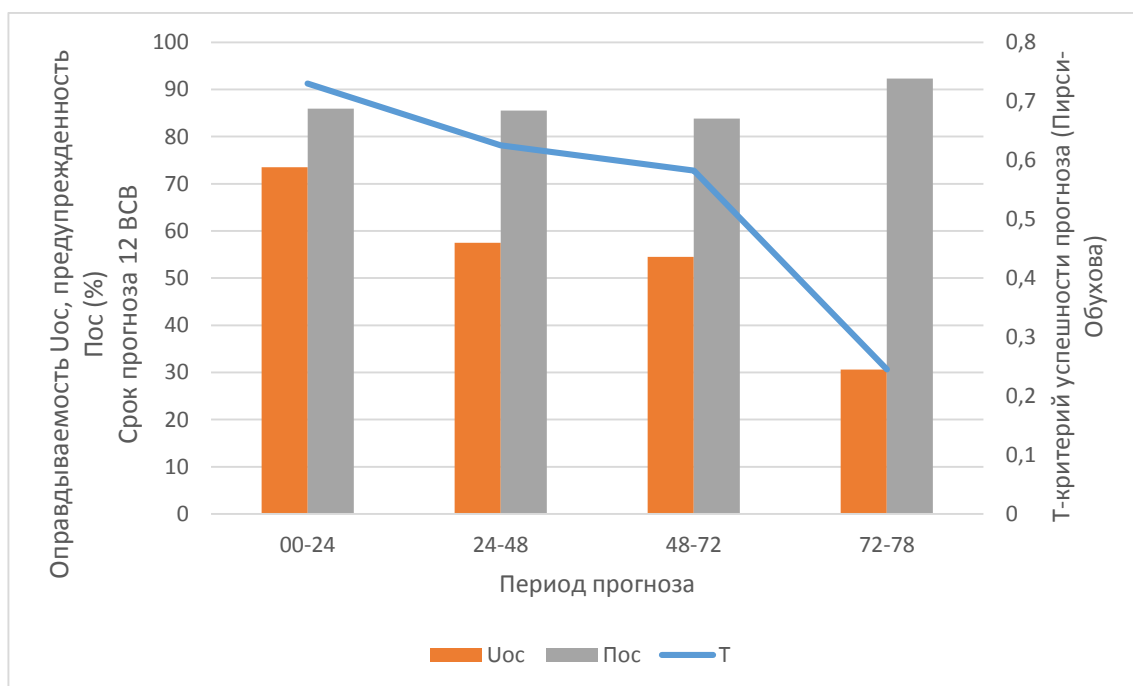


Рисунок В2 – Характеристики успешности прогноза осадков для августа за расчетный срок 12 ВСВ

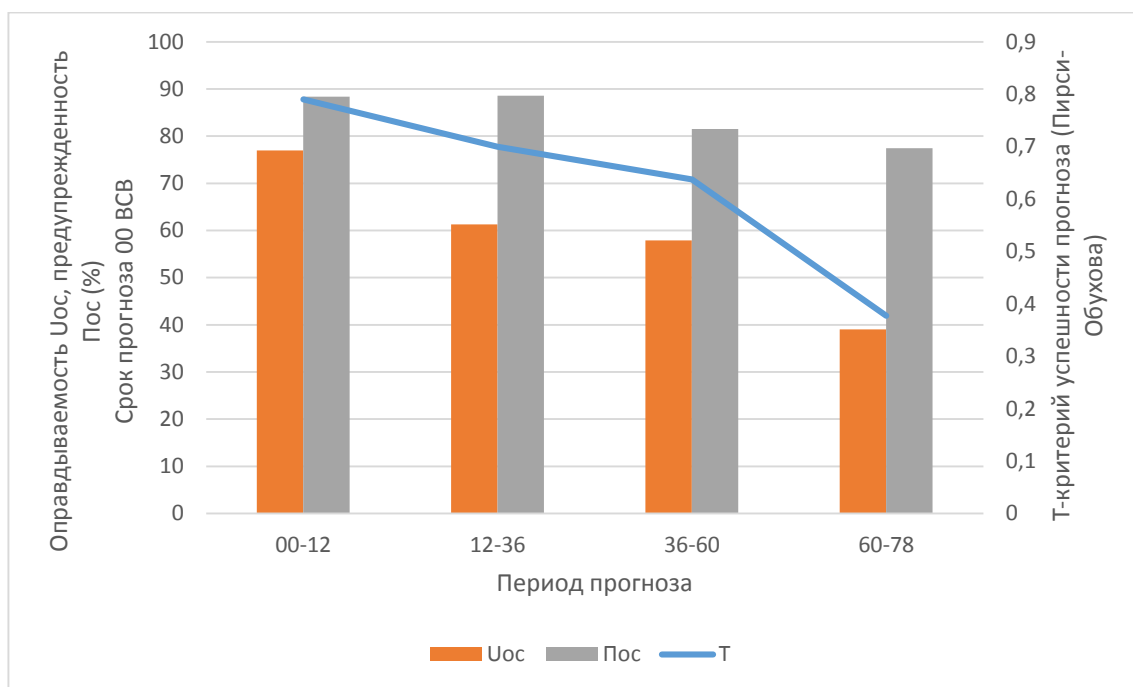


Рисунок В3 – Характеристики успешности прогноза осадков для мая за расчетный срок 00 ВСВ

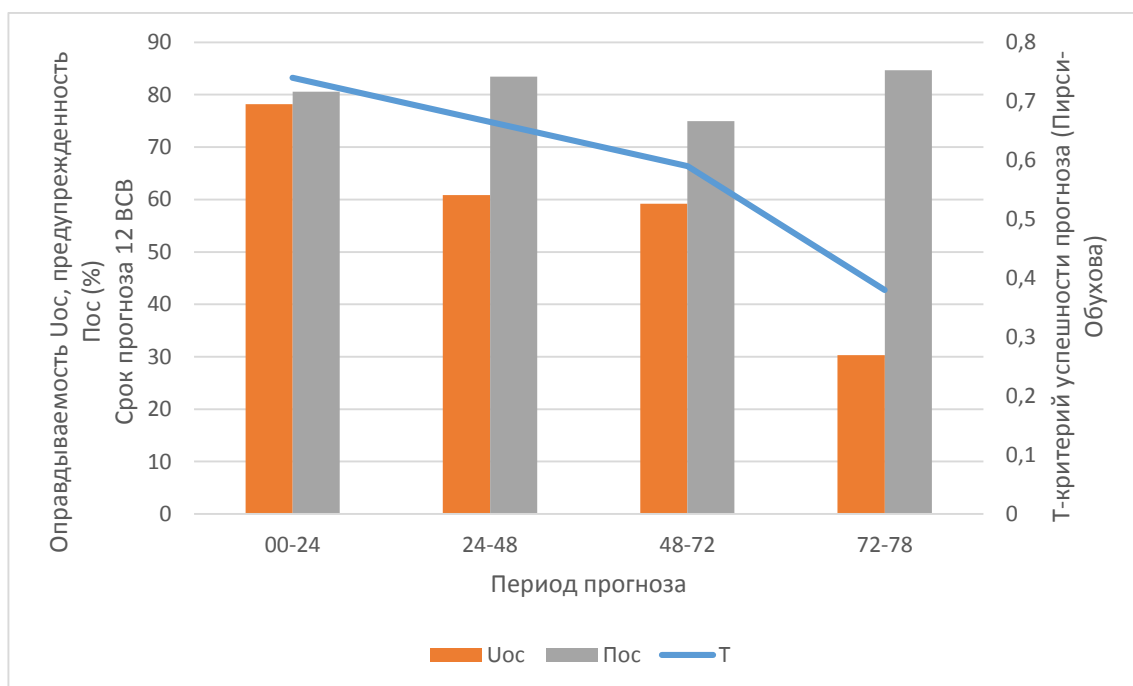


Рисунок В4 – Характеристики успешности прогноза осадков для мая за расчетный срок 12 ВСВ

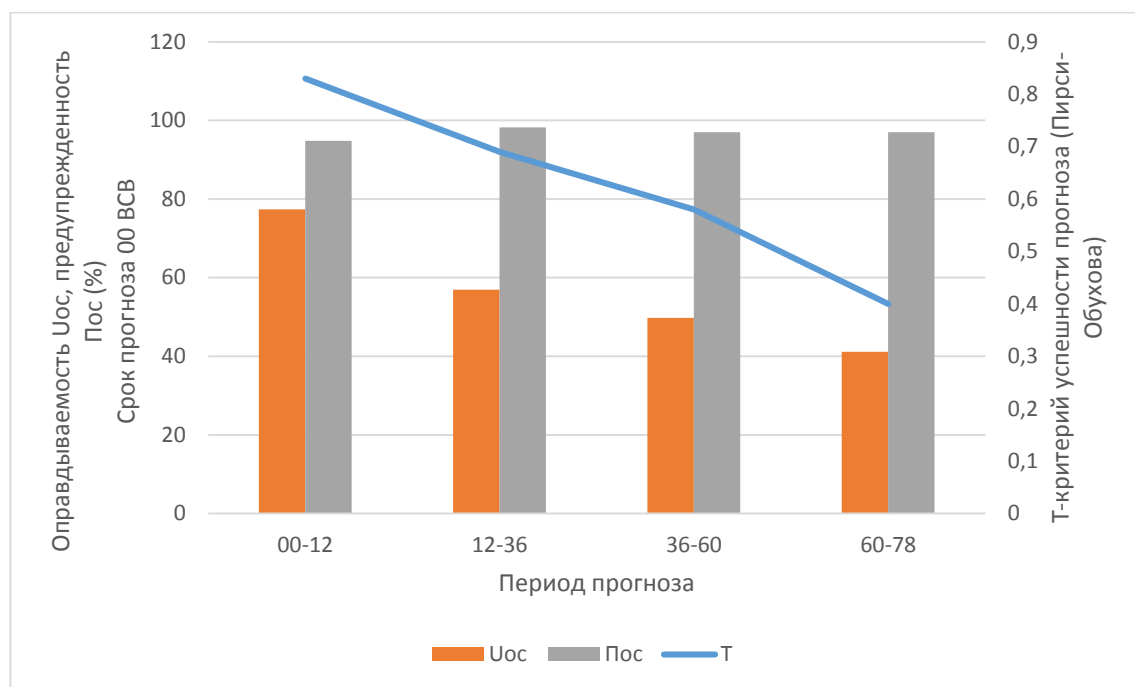


Рисунок В5 – Характеристики успешности прогноза осадков для апреля за расчетный срок 00 ВСВ

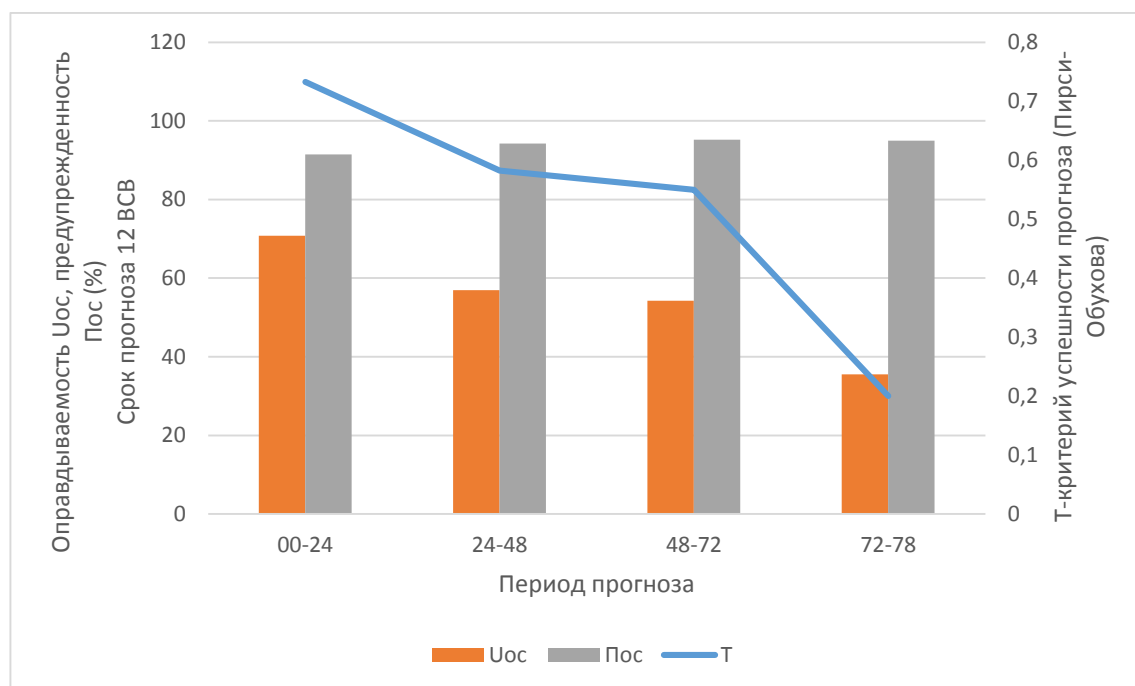


Рисунок В6 – Характеристики успешности прогноза осадков для апреля за расчетный срок 12 ВСВ

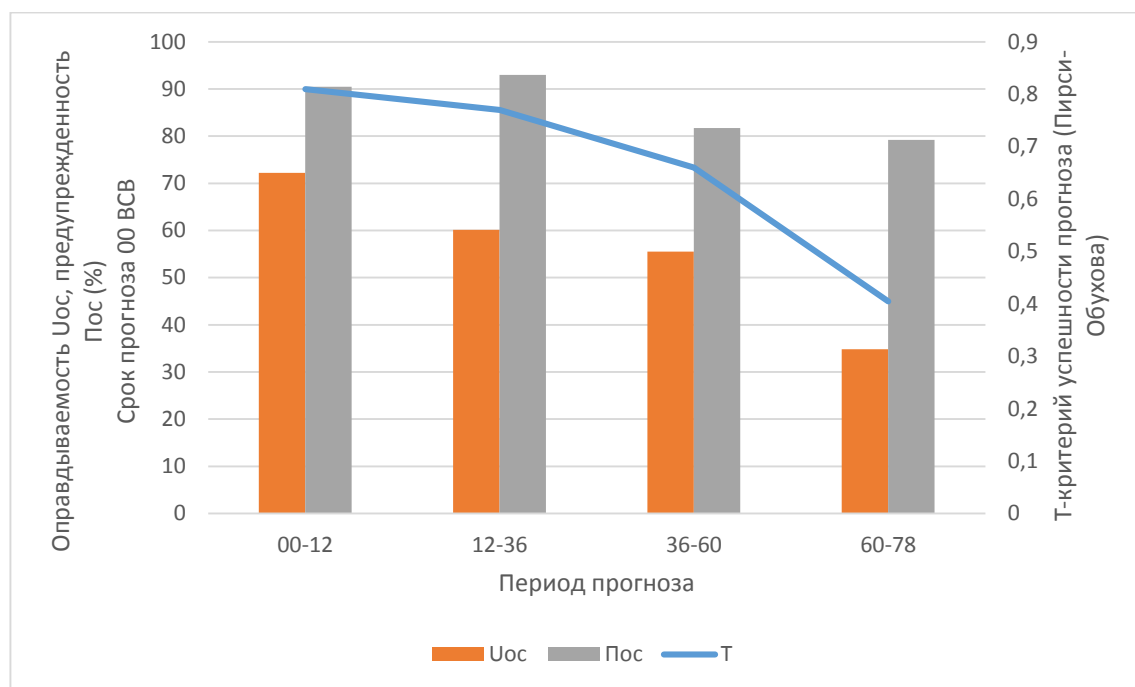


Рисунок В7 – Характеристики успешности прогноза осадков для июля за расчетный срок 00 ВСВ

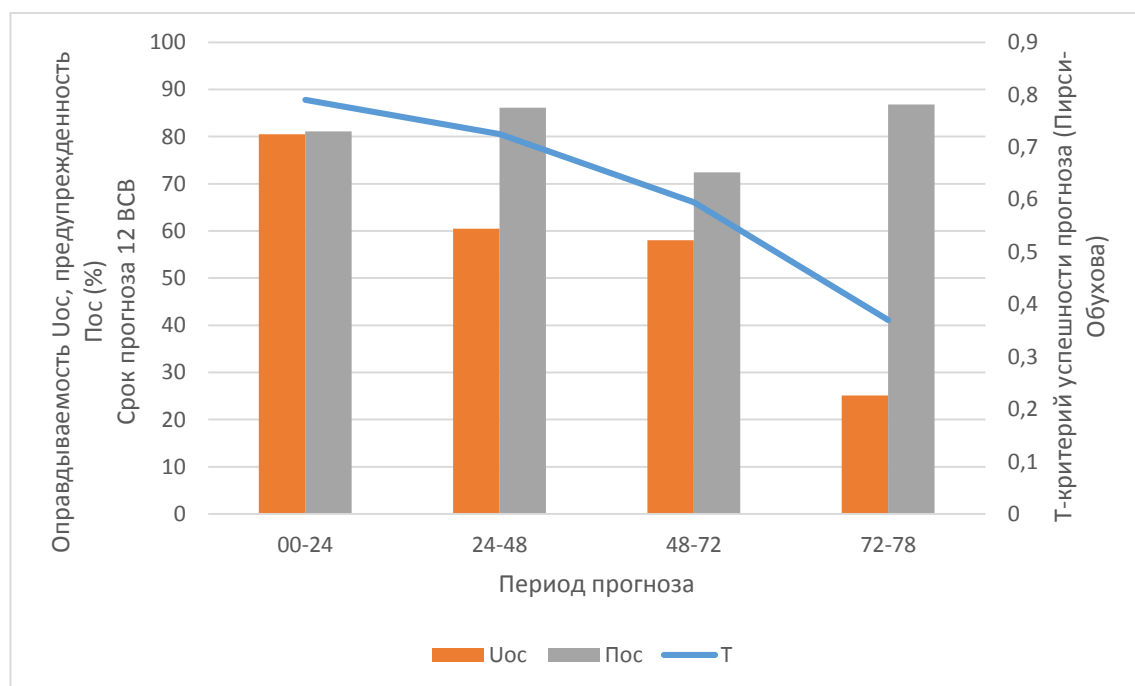


Рисунок В8 – Характеристики успешности прогноза осадков для июля за расчетный срок 12 ВСВ

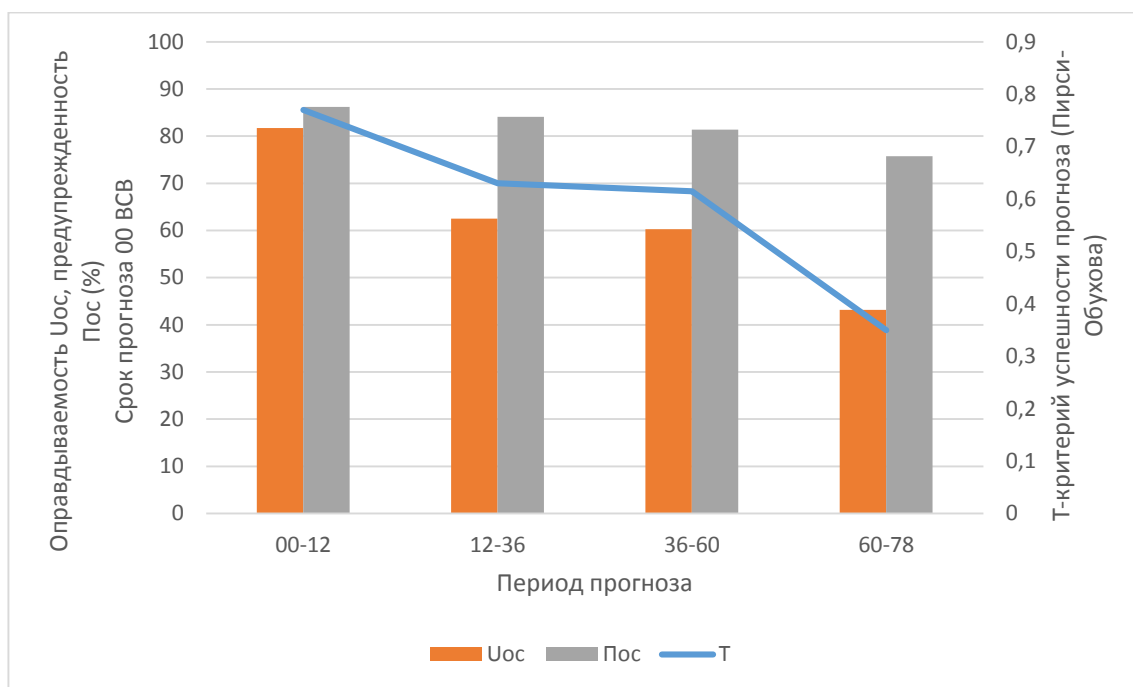


Рисунок В9 – Характеристики успешности прогноза осадков для января за расчетный срок 00 ВСВ

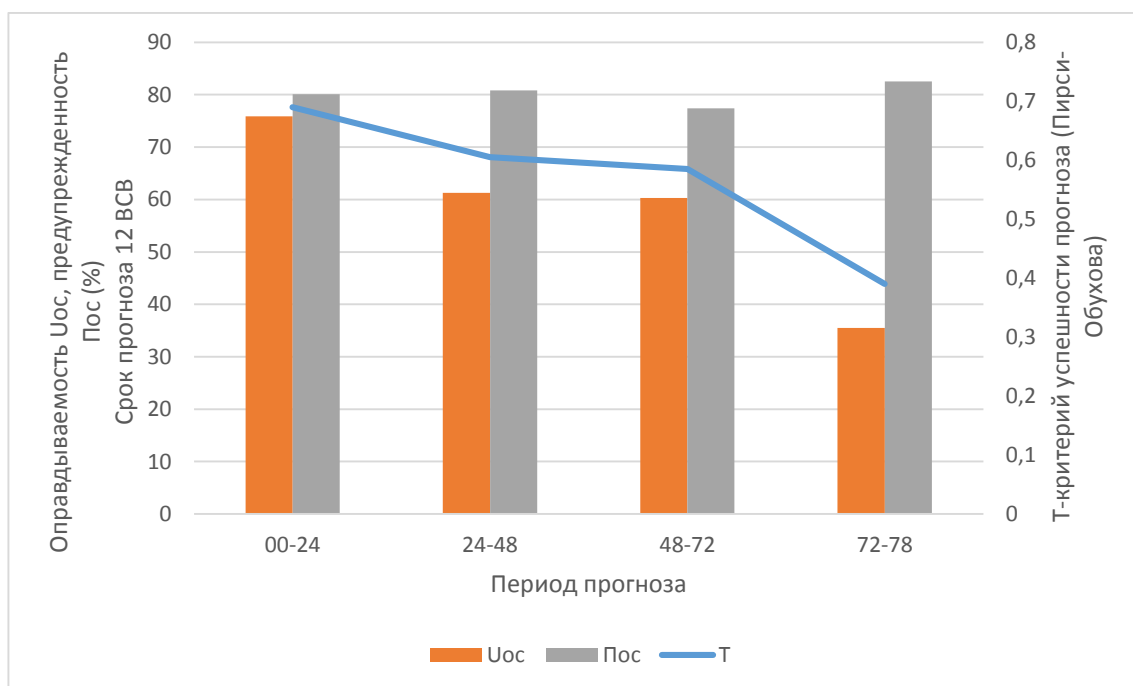


Рисунок В10 – Характеристики успешности прогноза осадков для января за расчетный срок 12 ВСВ

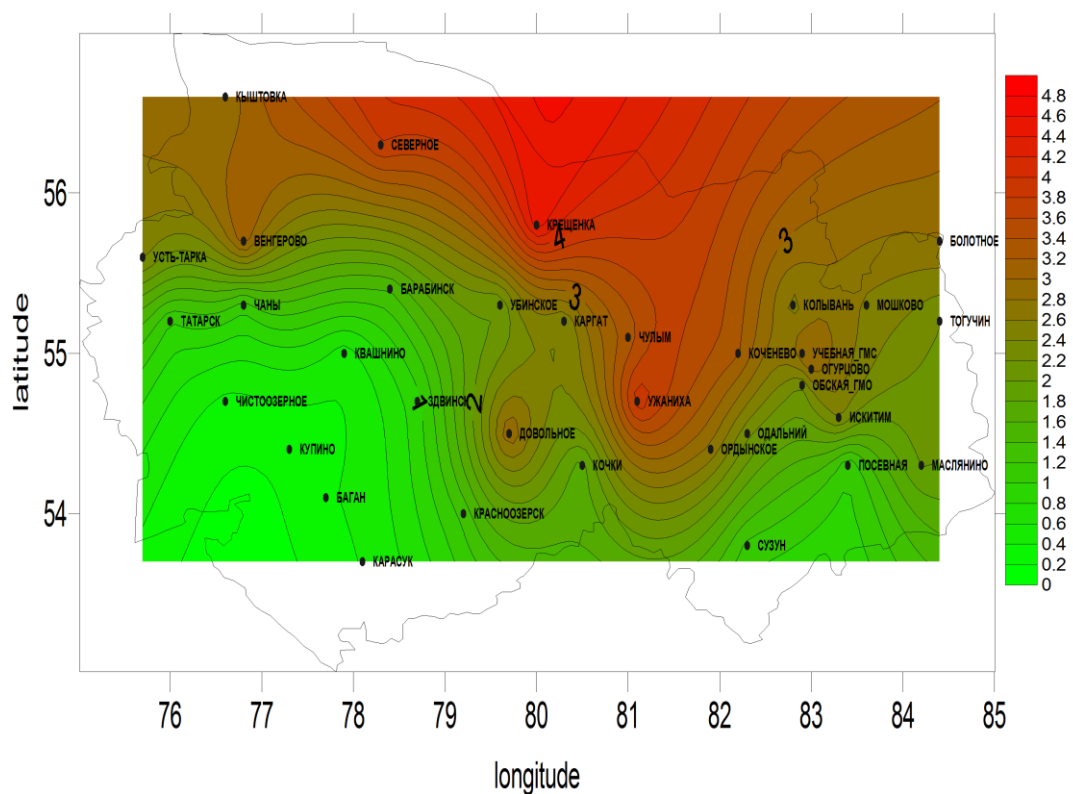


Рисунок Г1 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 1 по 4.05.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

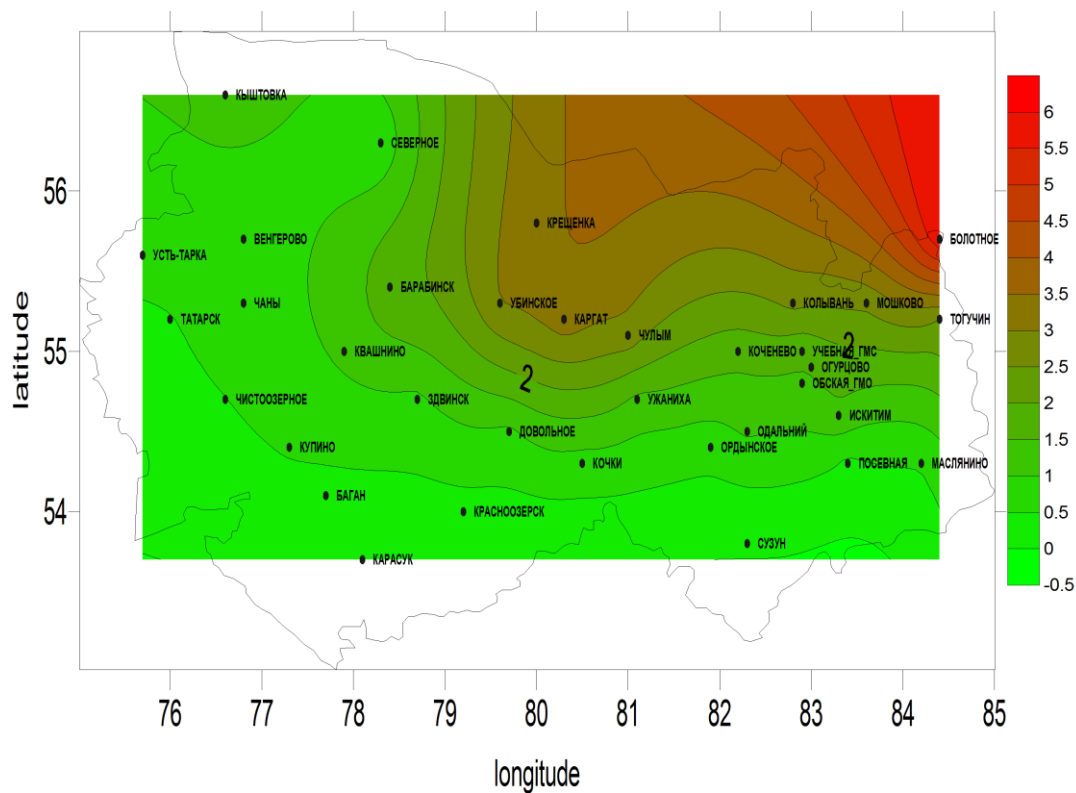


Рисунок Г2 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 1 по 4.05.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

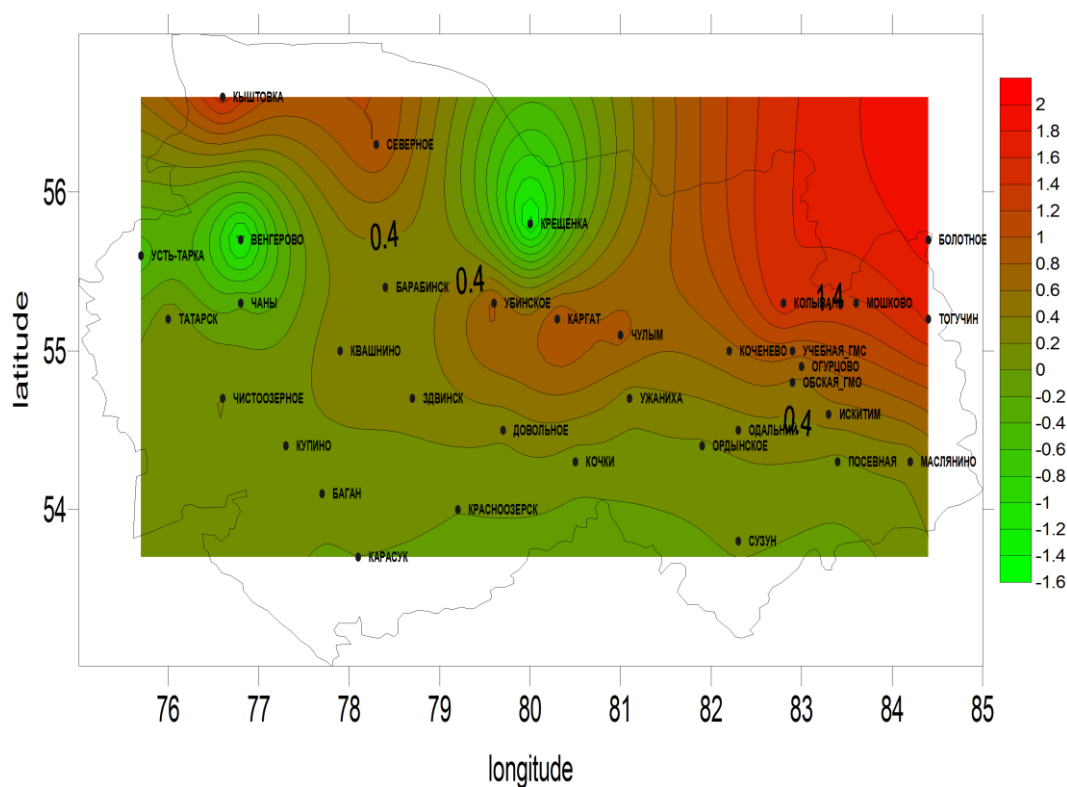


Рисунок Г3 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 1 по 4.05.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (ночь)

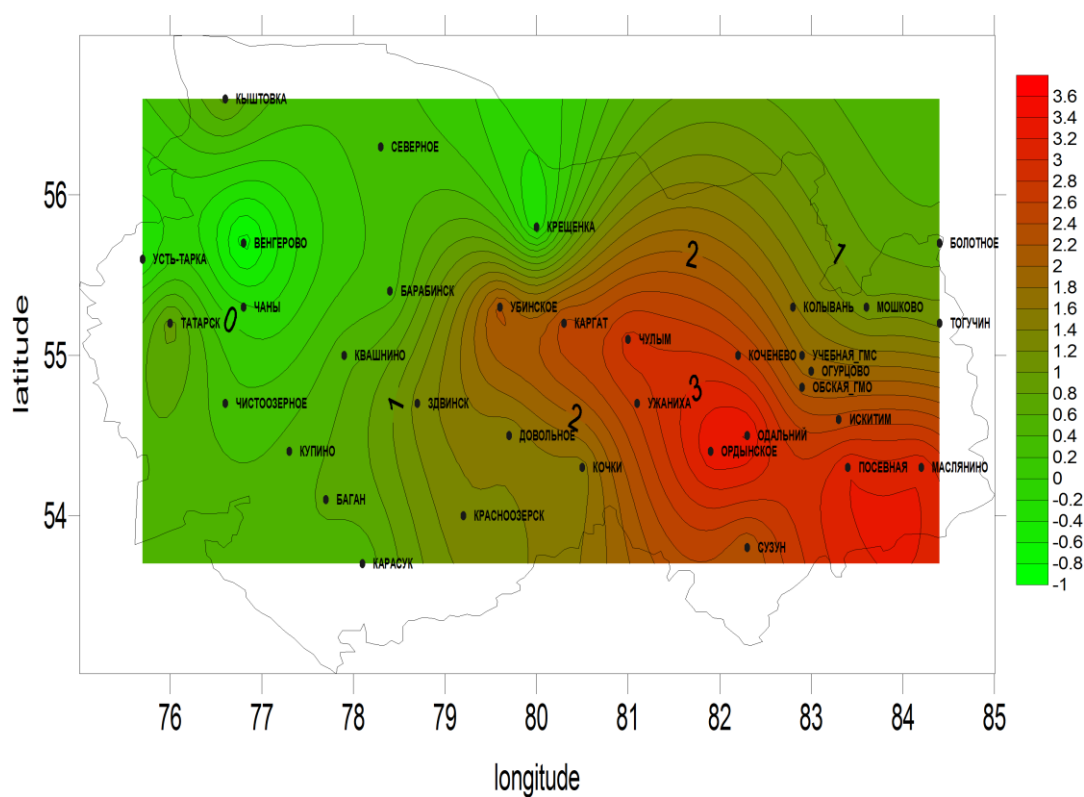


Рисунок Г4 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 1 по 4.05.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (ночь)

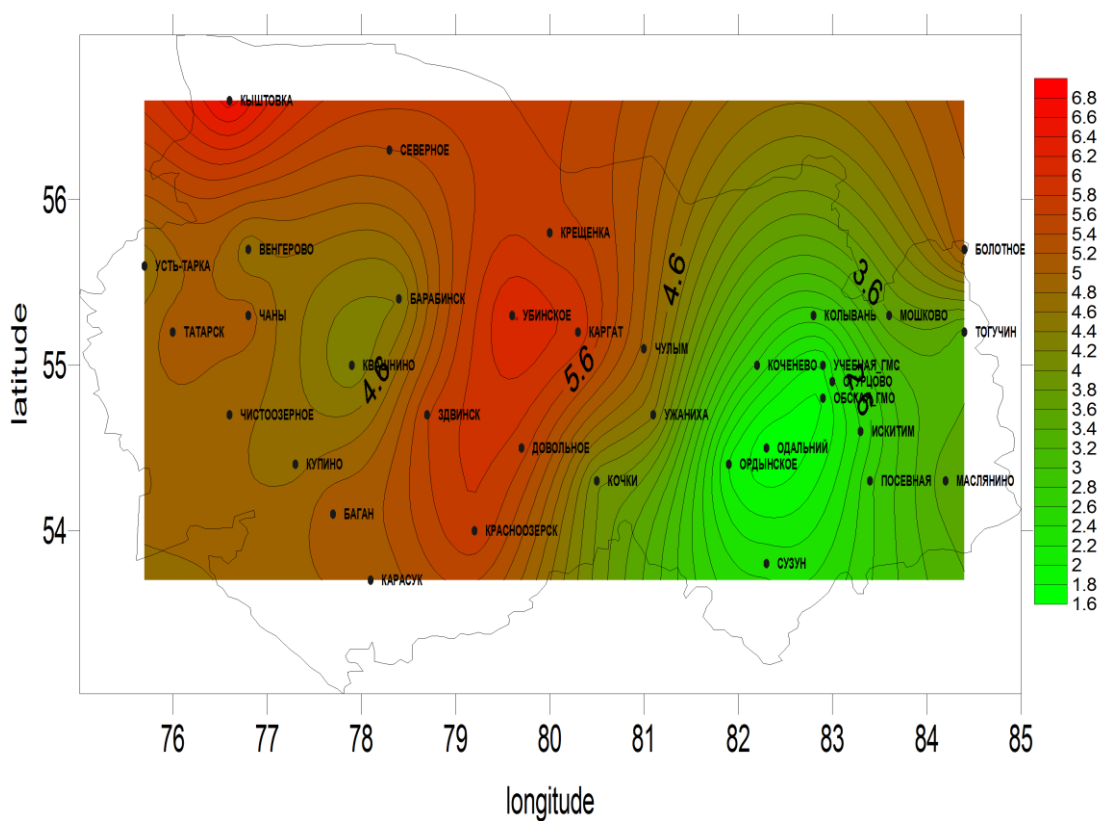


Рисунок Г5 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 3 по 5.04.2017 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

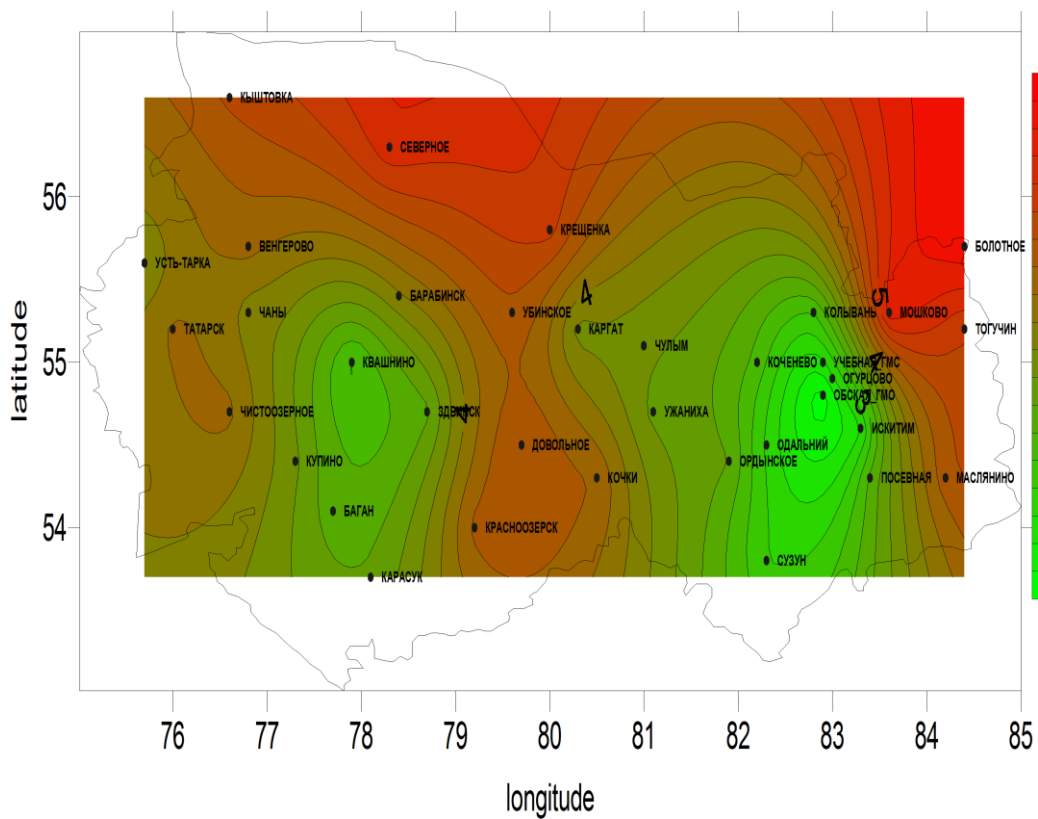


Рисунок Г6 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 3 по 5.04.2017 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

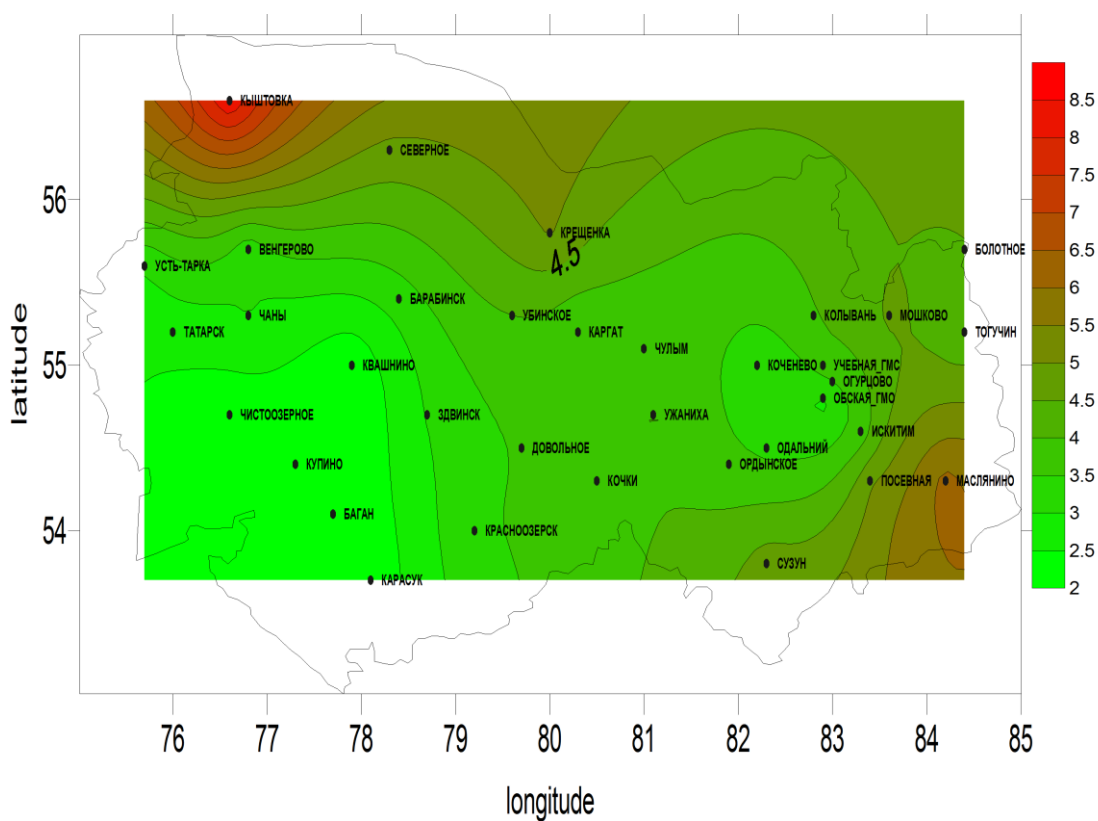


Рисунок Г7 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 3 по 5.04.2017 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (ночь)

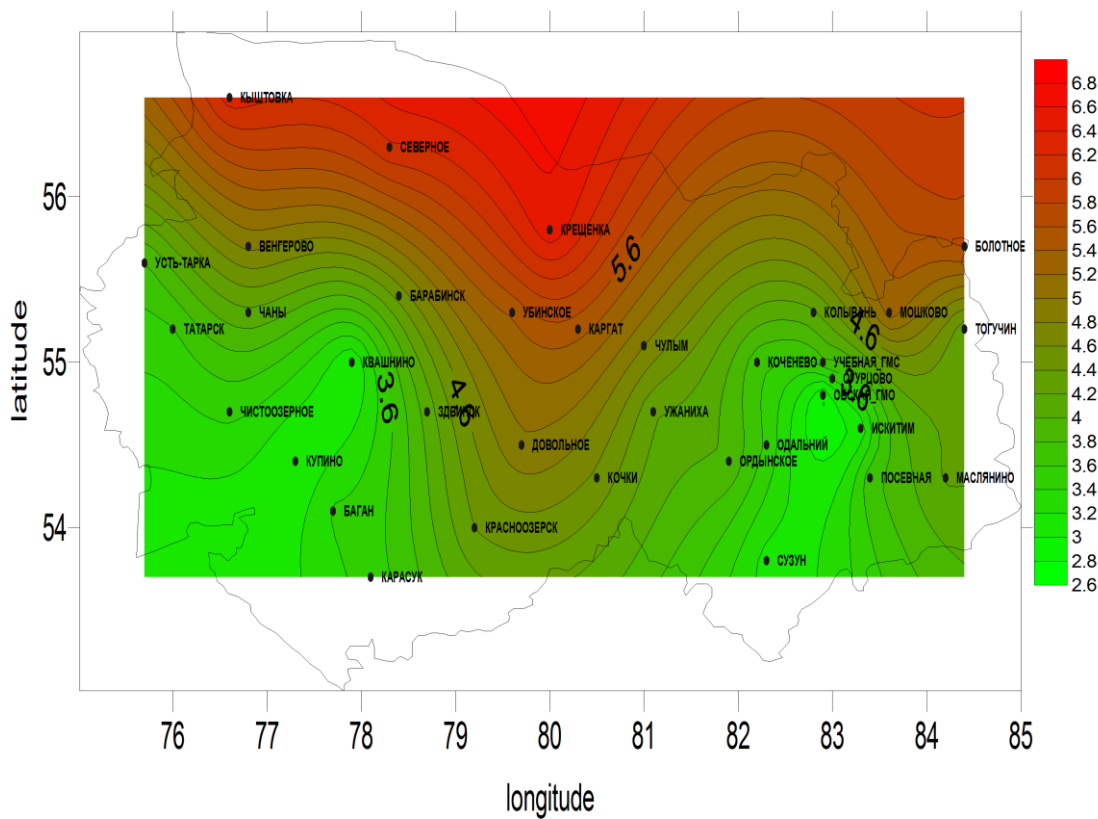


Рисунок Г8 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 3 по 5.04.2017 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

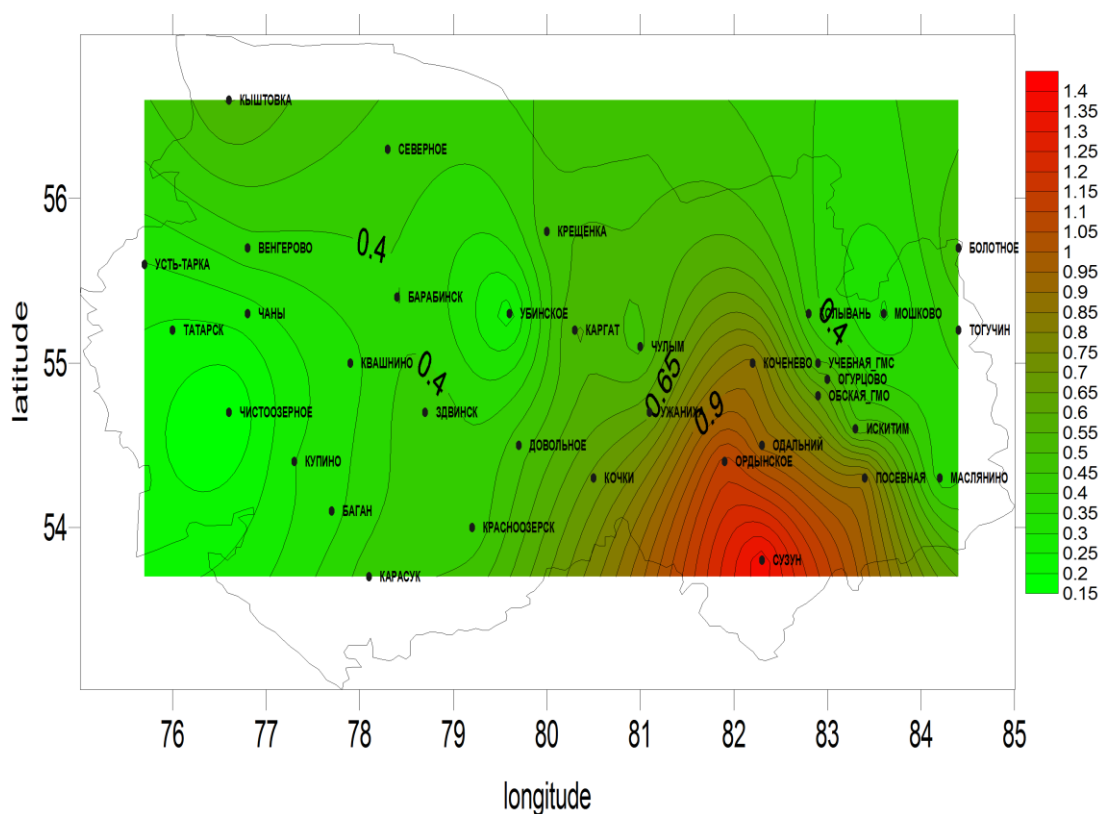


Рисунок Г9 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 7 по 9.01.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

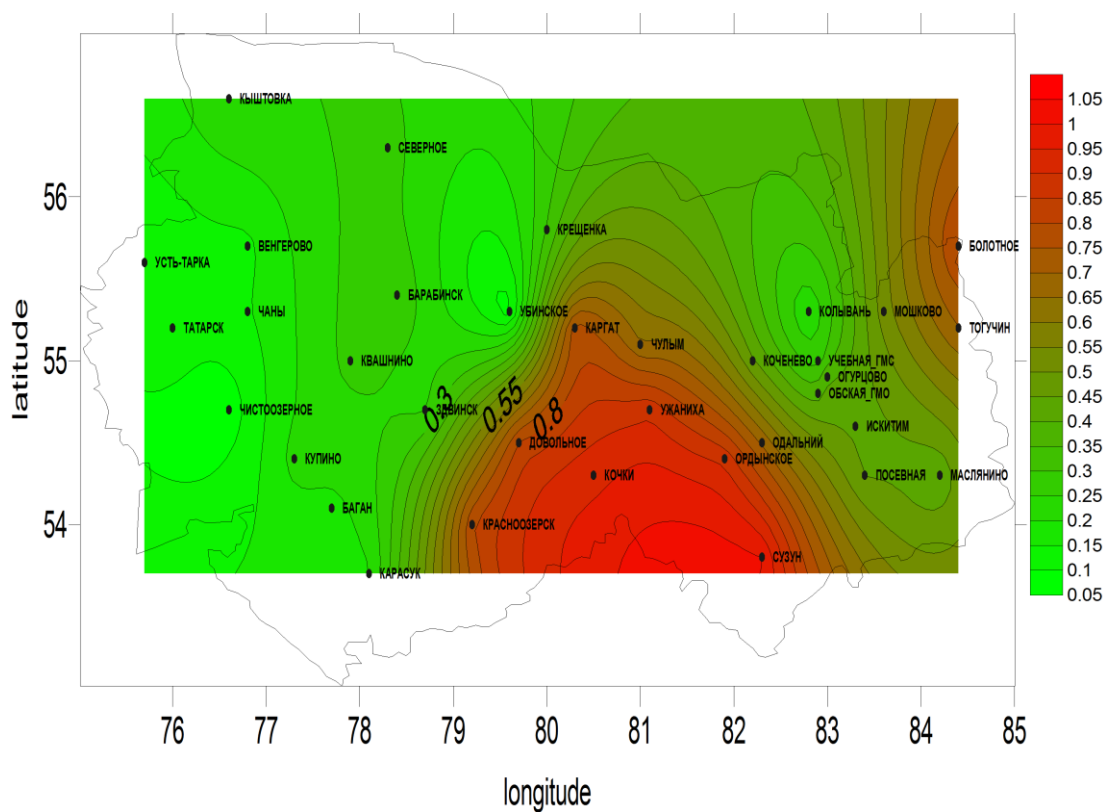


Рисунок Г10 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 7 по 9.01.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

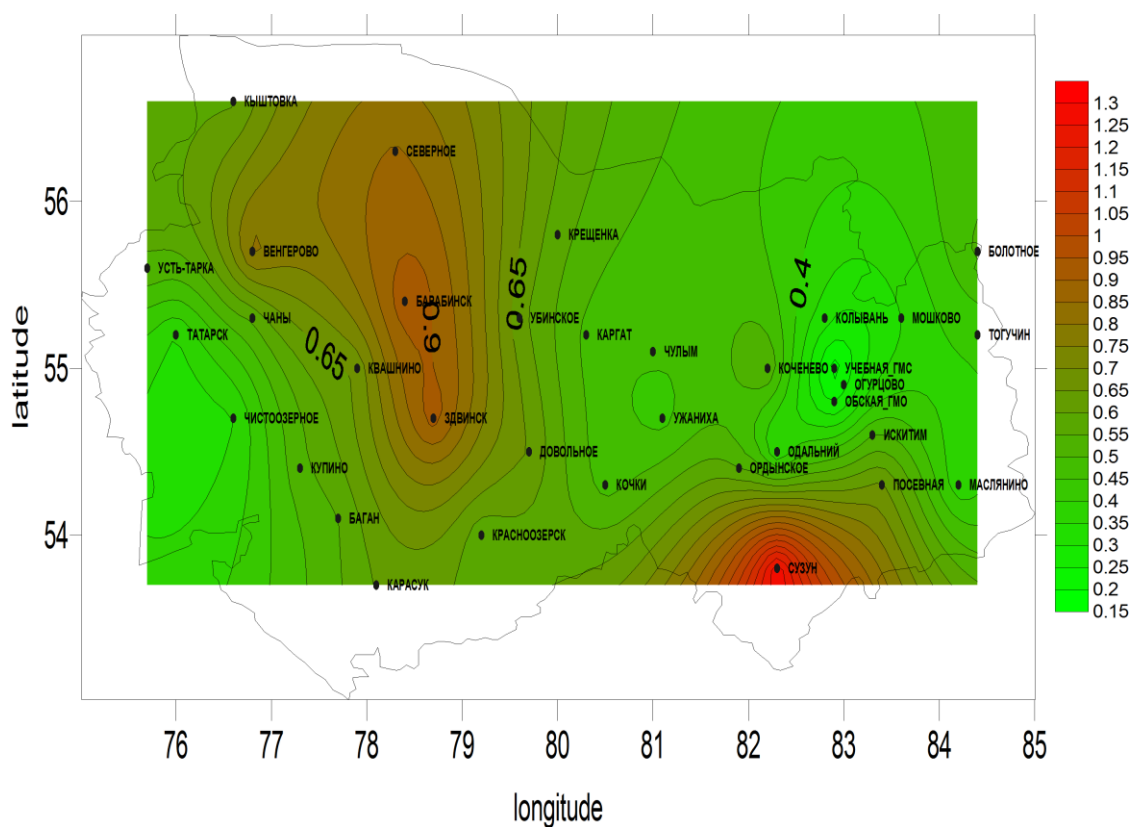


Рисунок Г11 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 7 по 9.01.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (ночь)

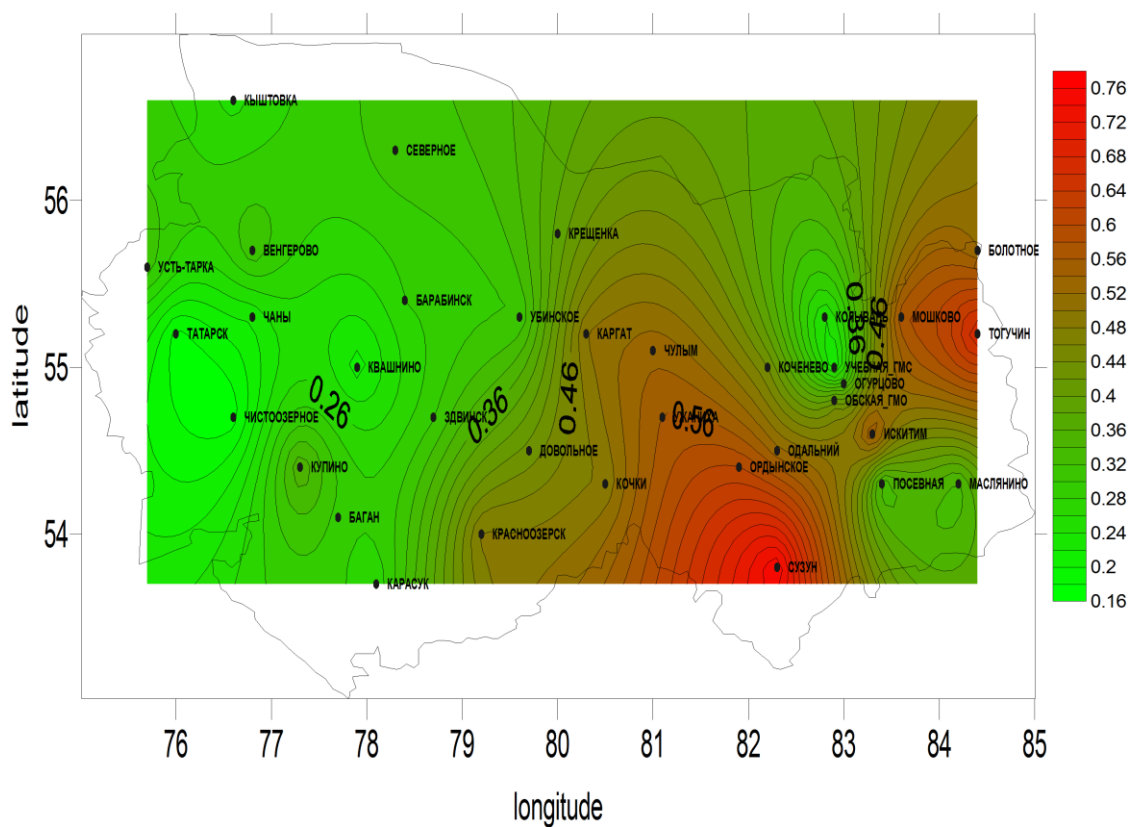


Рисунок Г12 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 7 по 9.01.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (ночь)

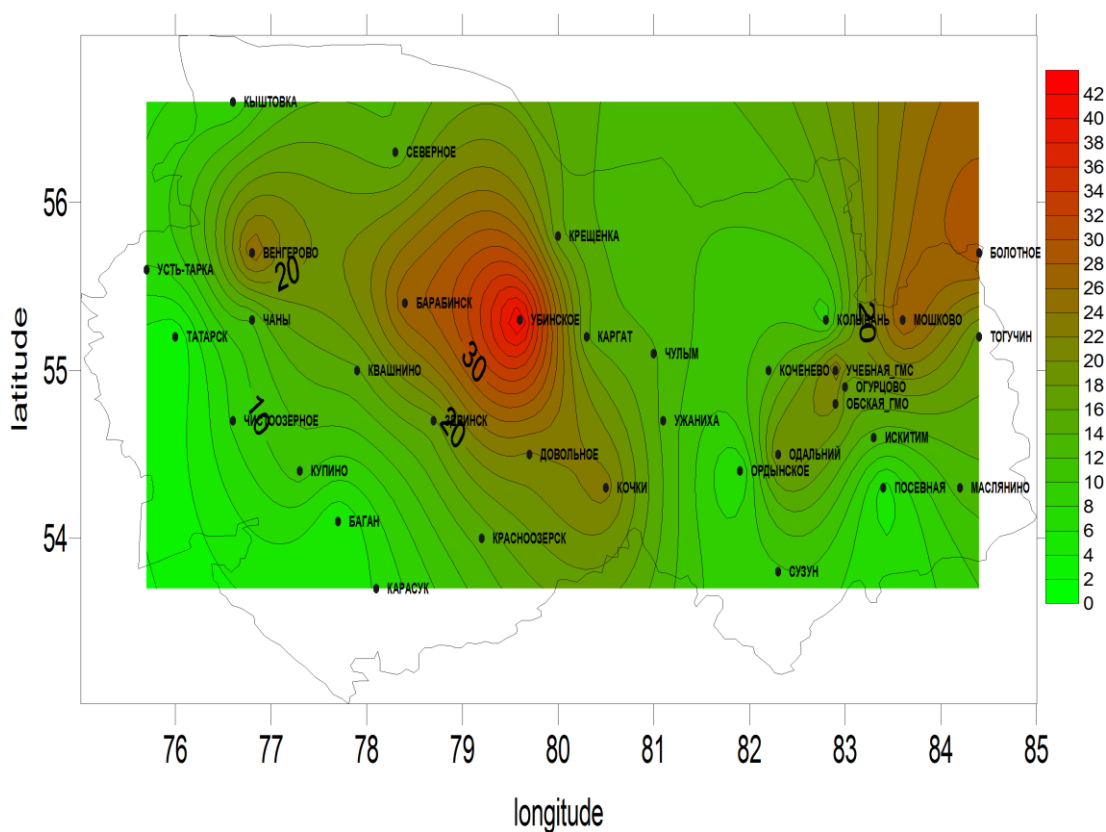


Рисунок Г13 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 12 по 14.08.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

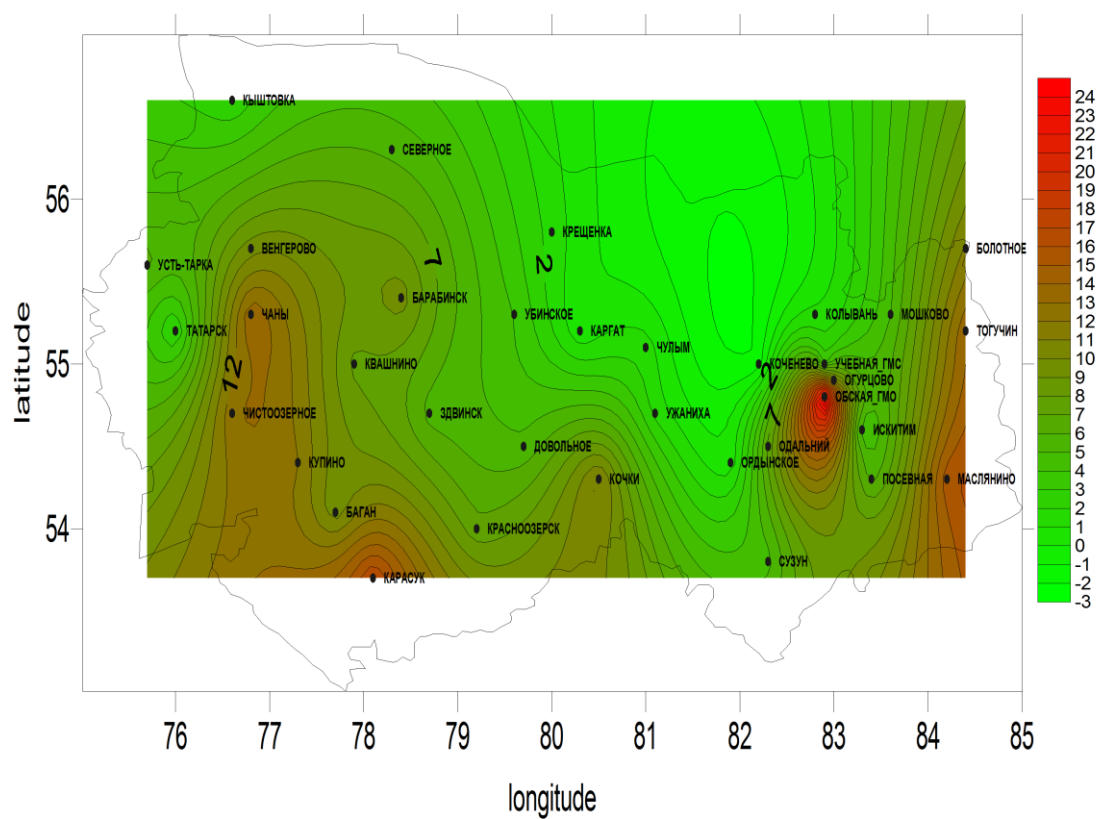


Рисунок Г14 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 12 по 14.08.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

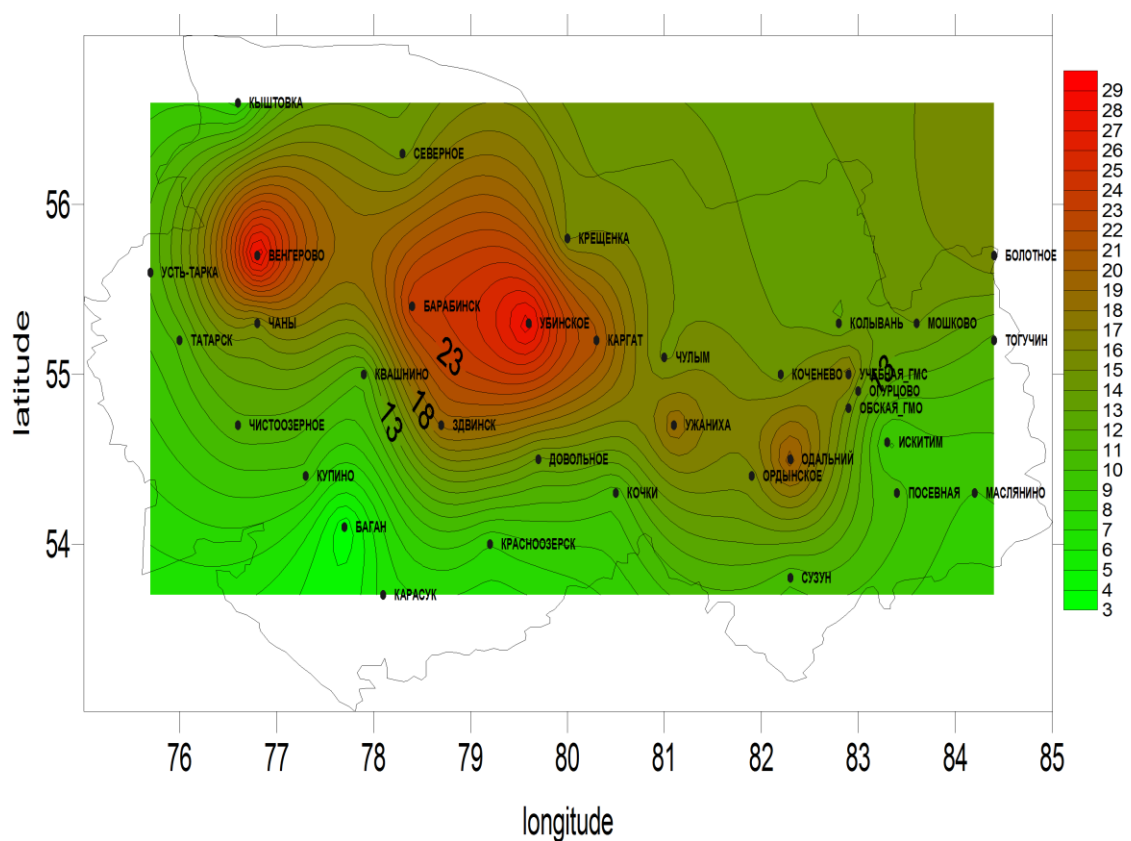


Рисунок Г15 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 12 по 14.08.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 BCB (ночь)

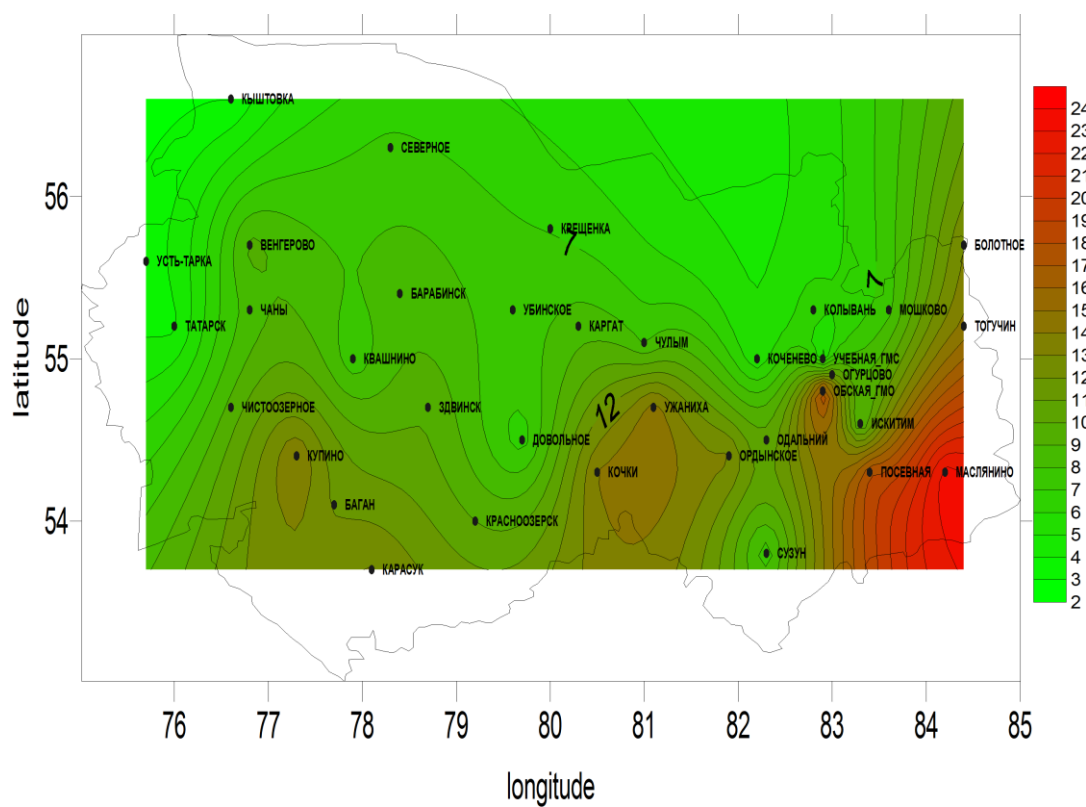


Рисунок Г16 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 12 по 14.08.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 BCB (ночь)

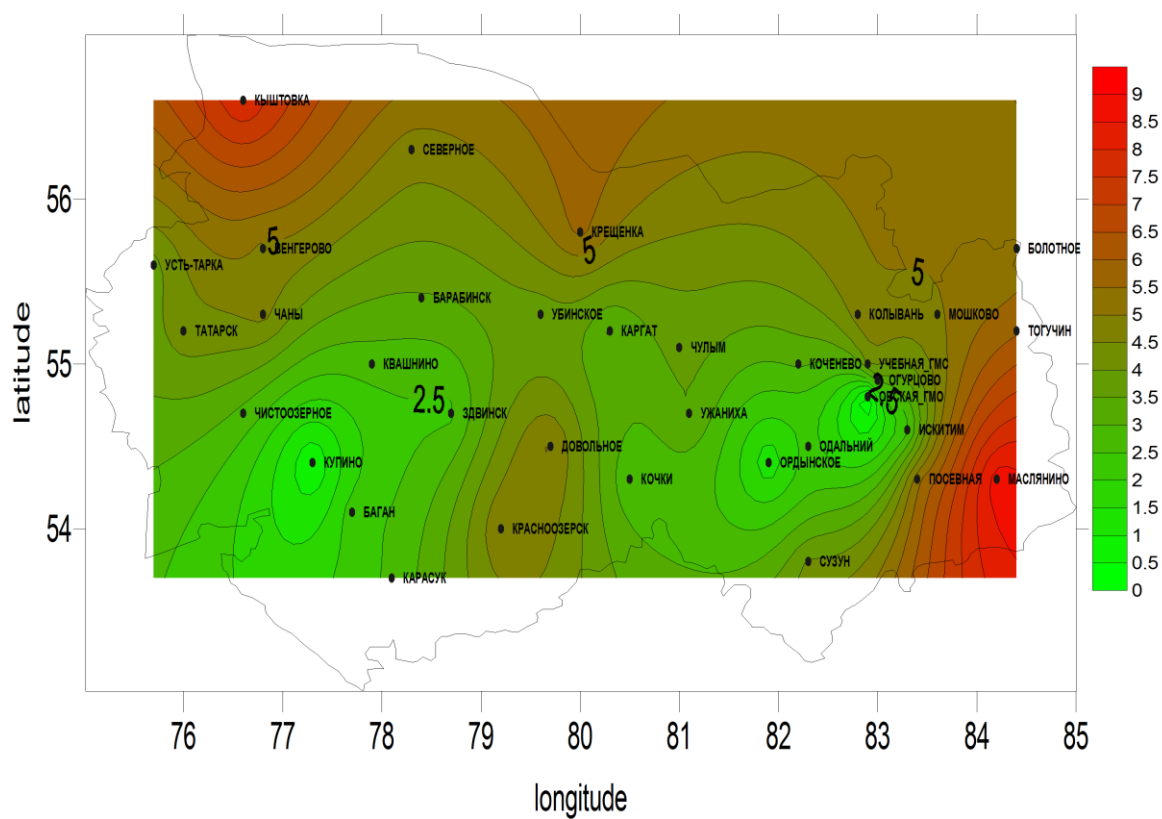


Рисунок Г17 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 20 по 24.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

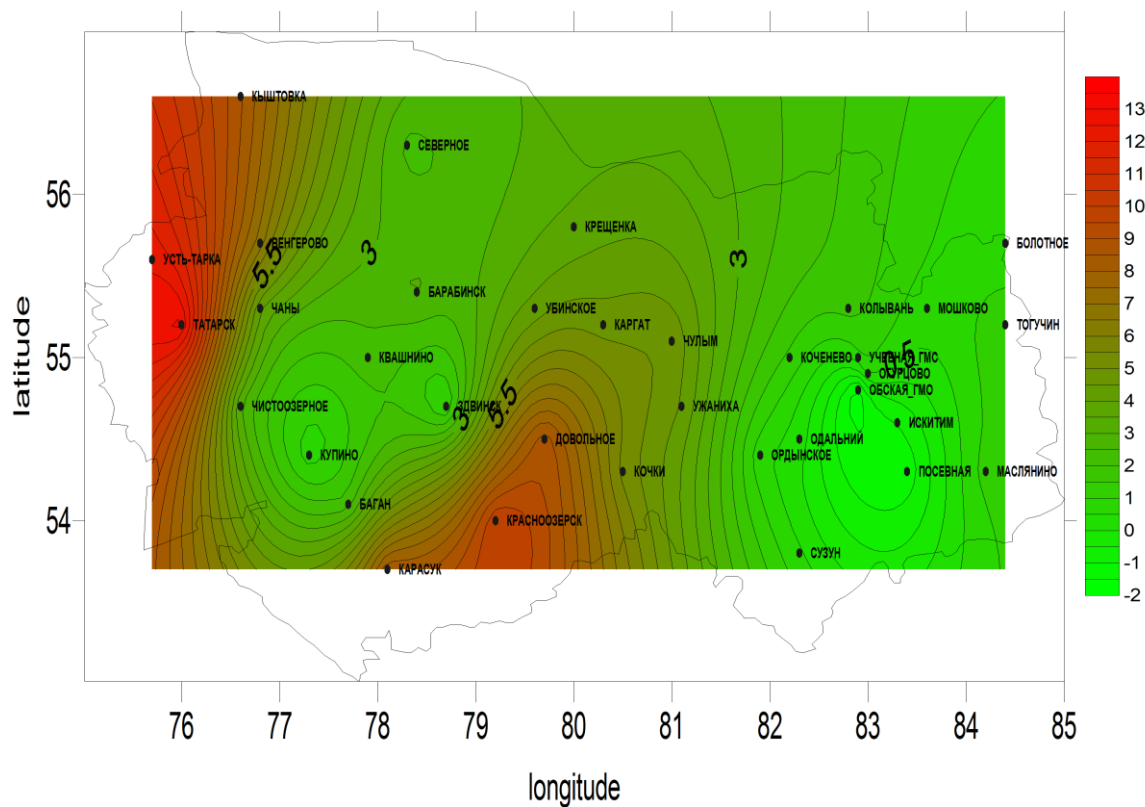


Рисунок Г18 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 20 по 24.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

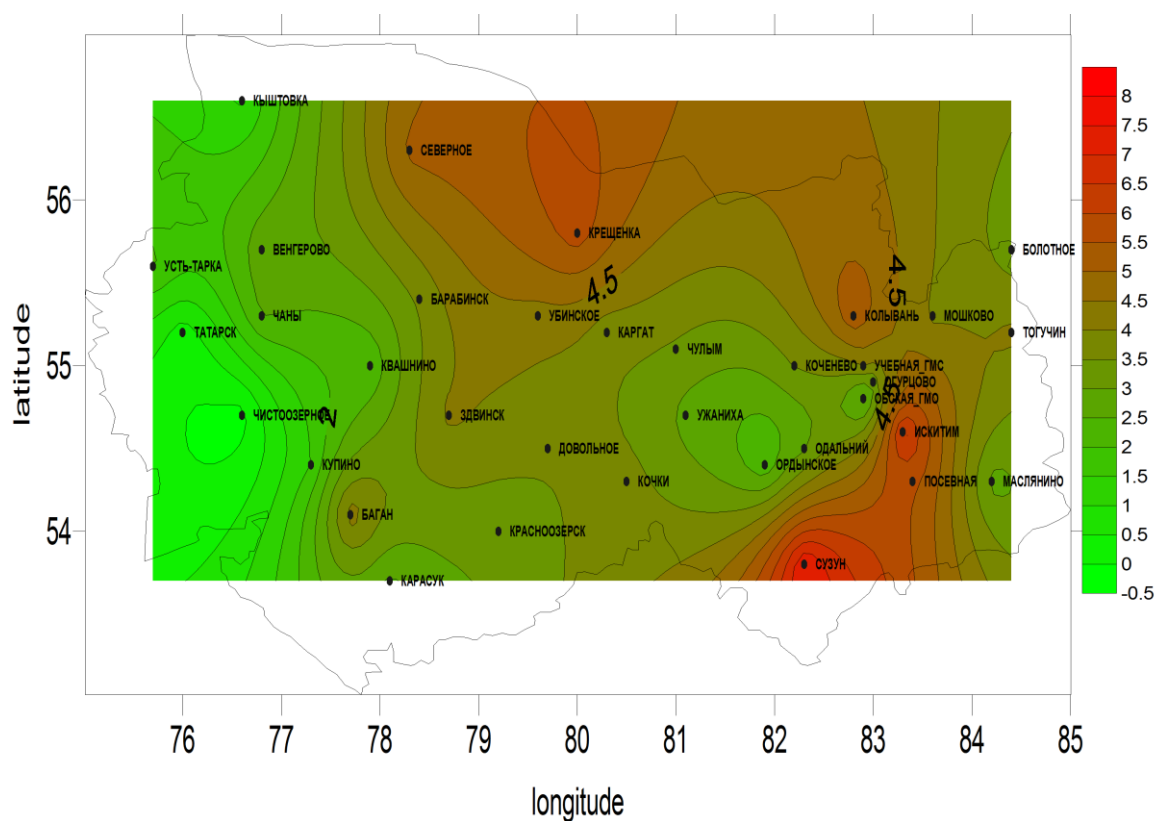


Рисунок Г19 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 20 по 24.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (ночь)

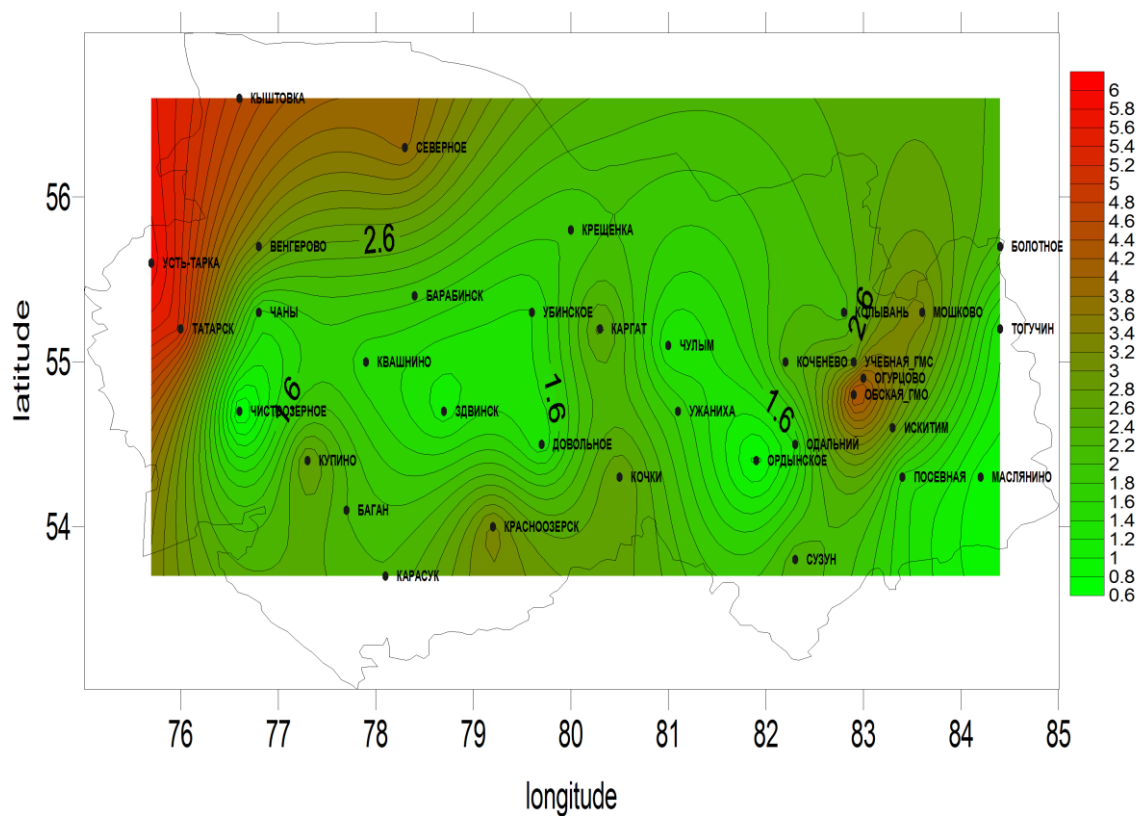


Рисунок Г20 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 20 по 24.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (ночь)

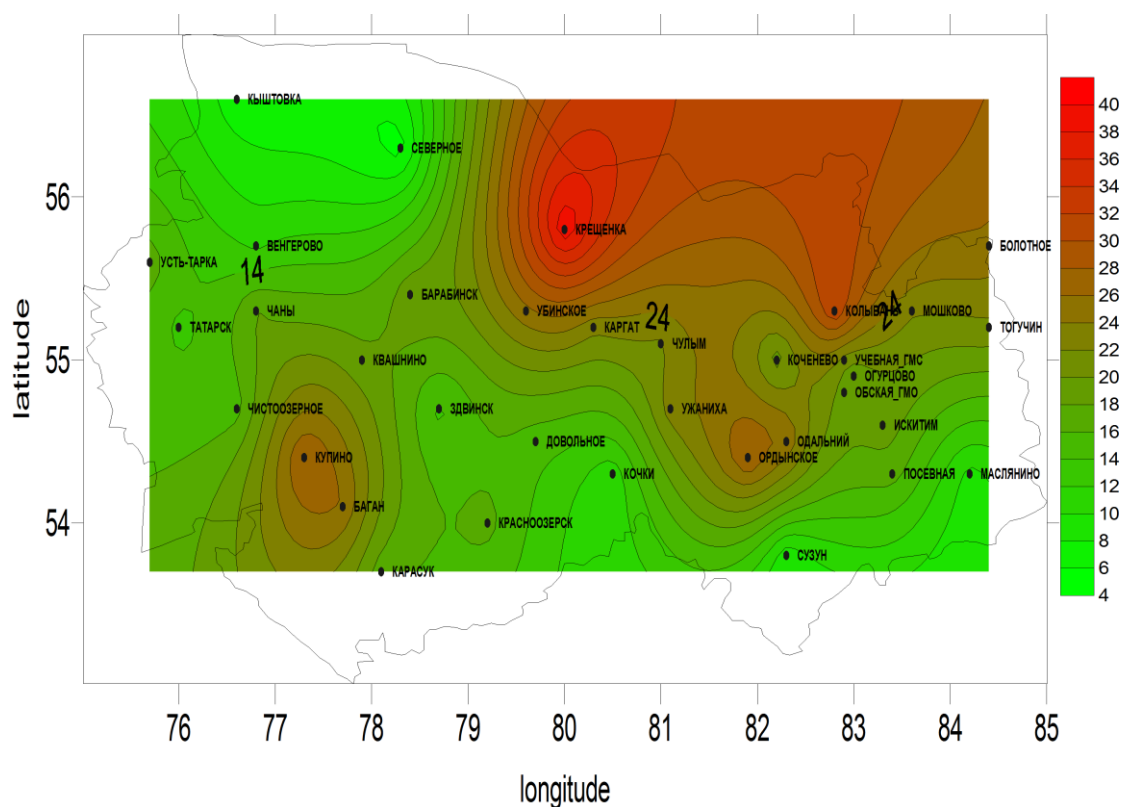


Рисунок Г21 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 22 по 25.07.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

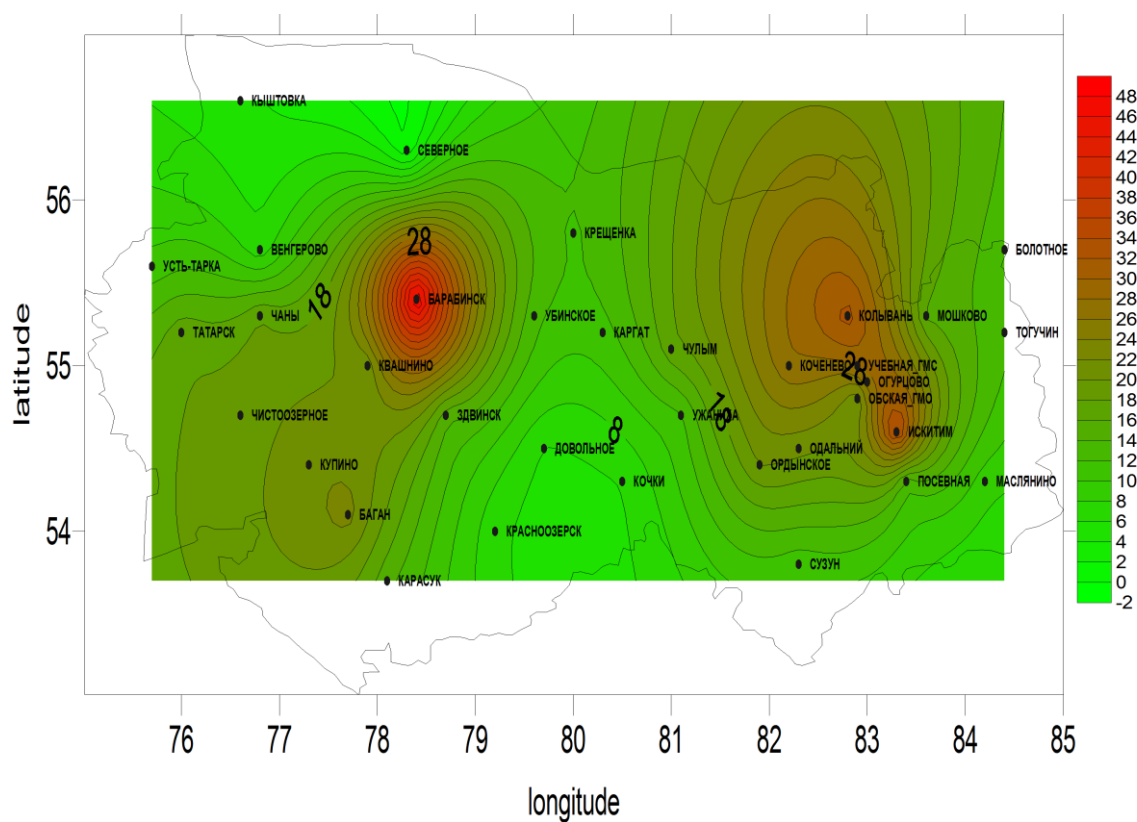


Рисунок Г22 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 22 по 25.07.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

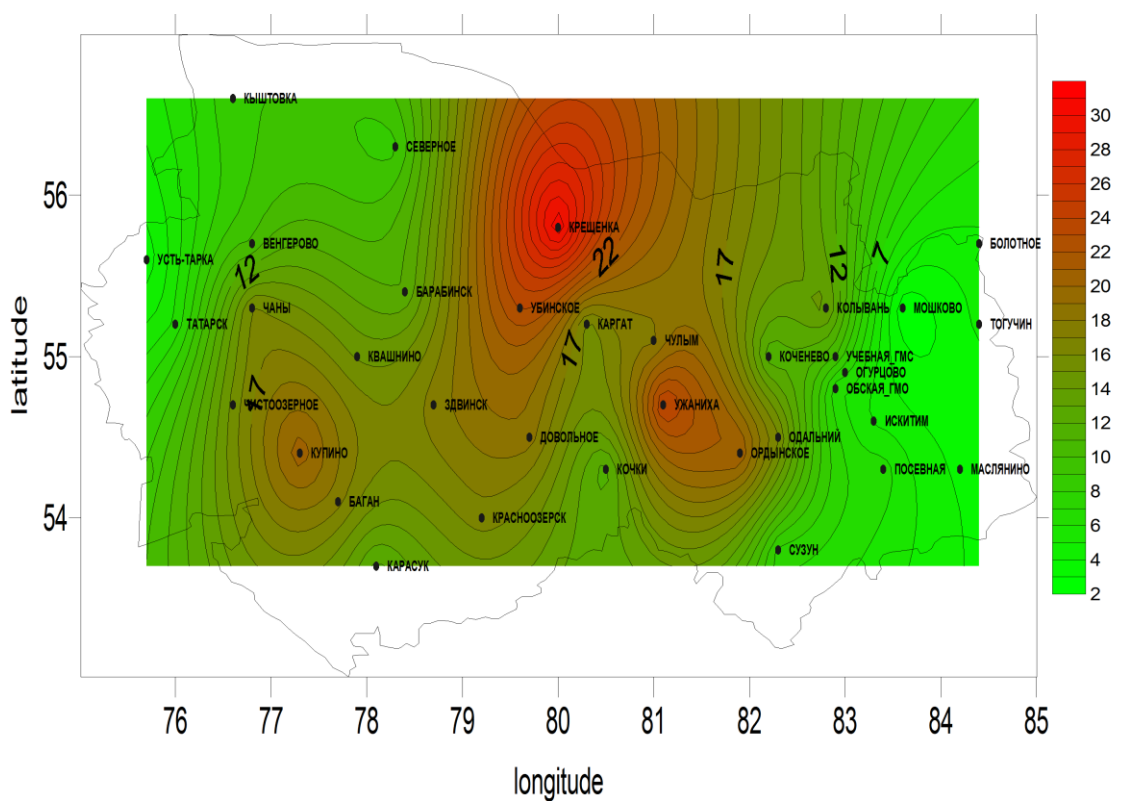


Рисунок Г23 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 22 по 25.07.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (ночь)

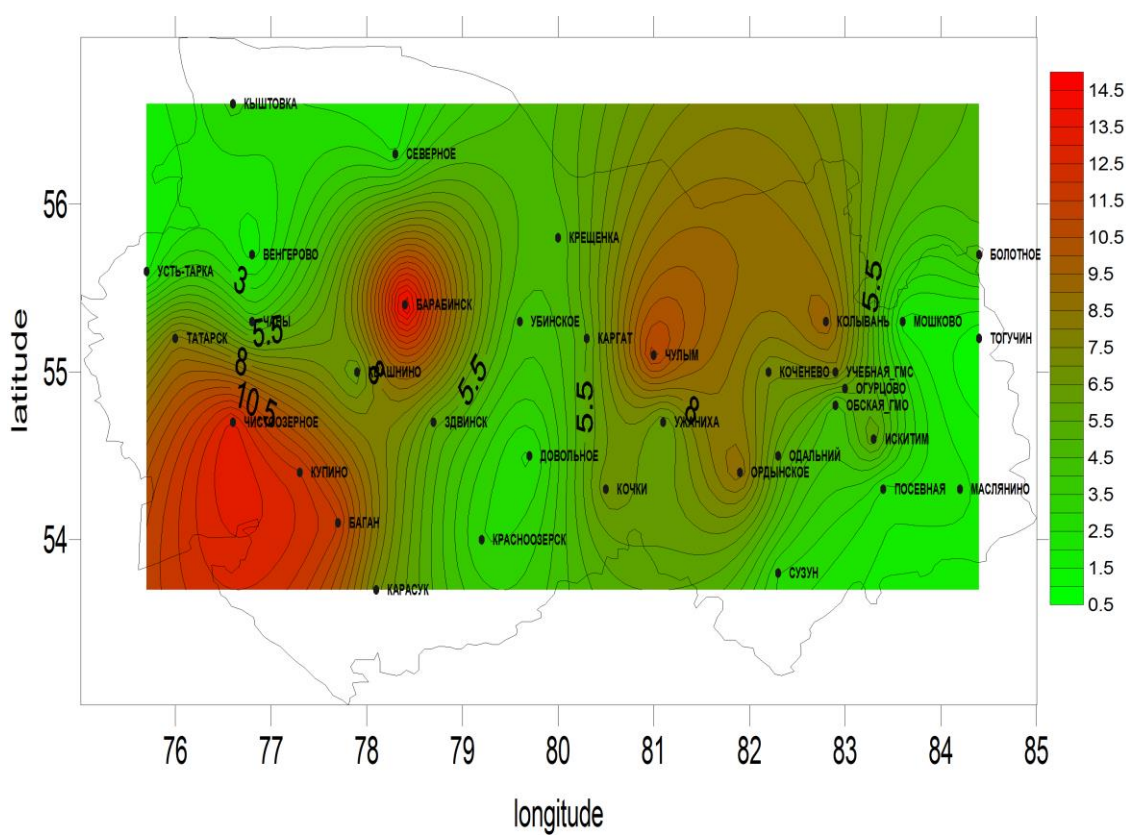


Рисунок Г24 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 22 по 25.07.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (ночь)

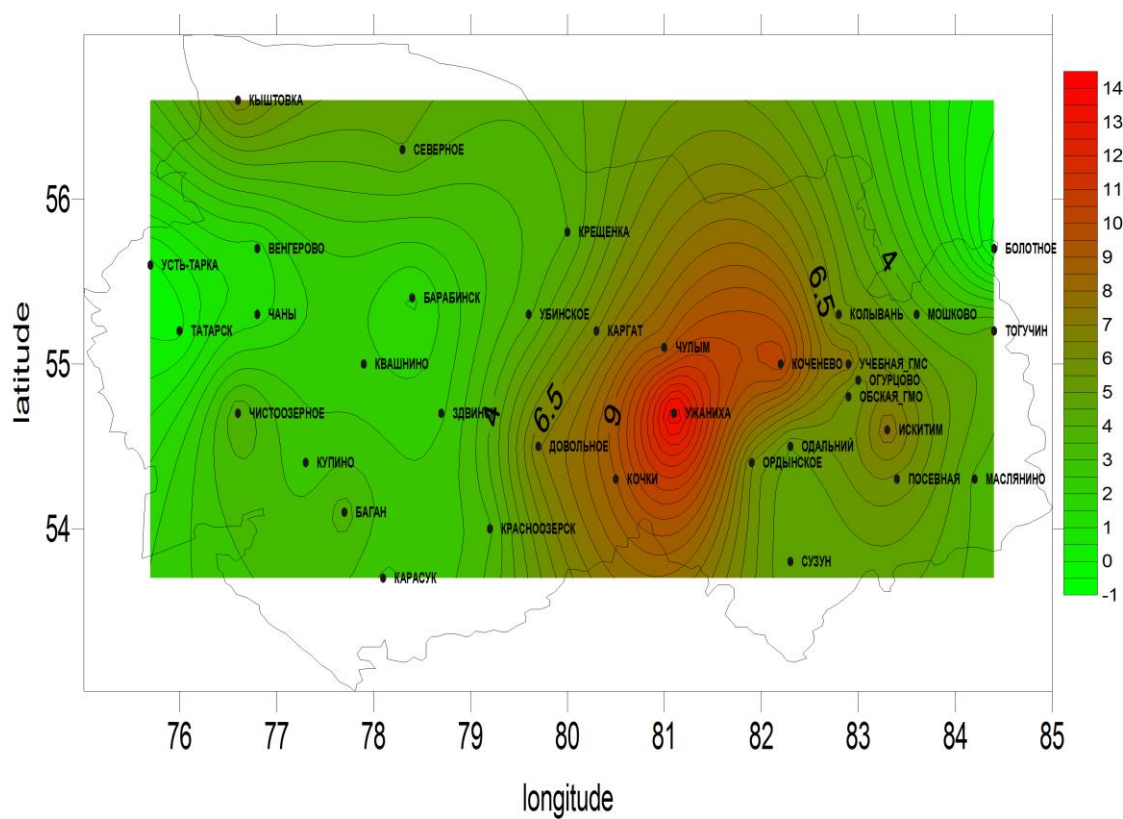


Рисунок Г25 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 25 по 28.04.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

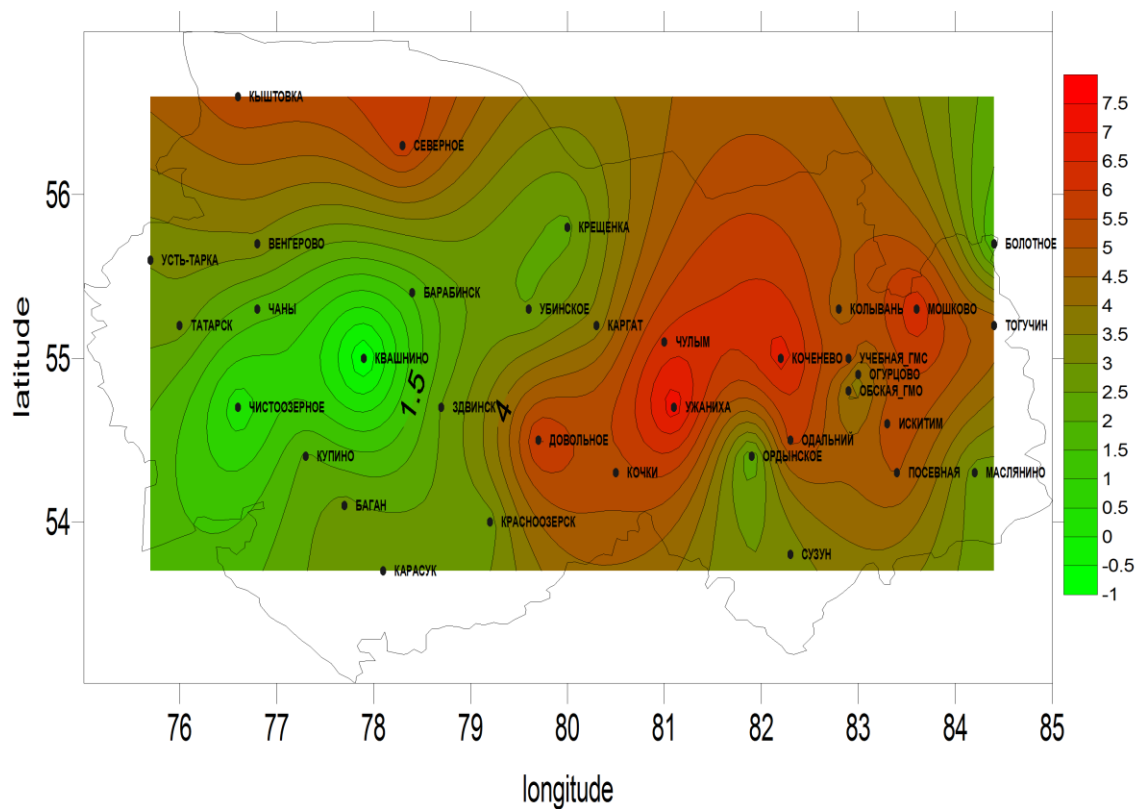


Рисунок Г26 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 25 по 28.04.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (ночь)

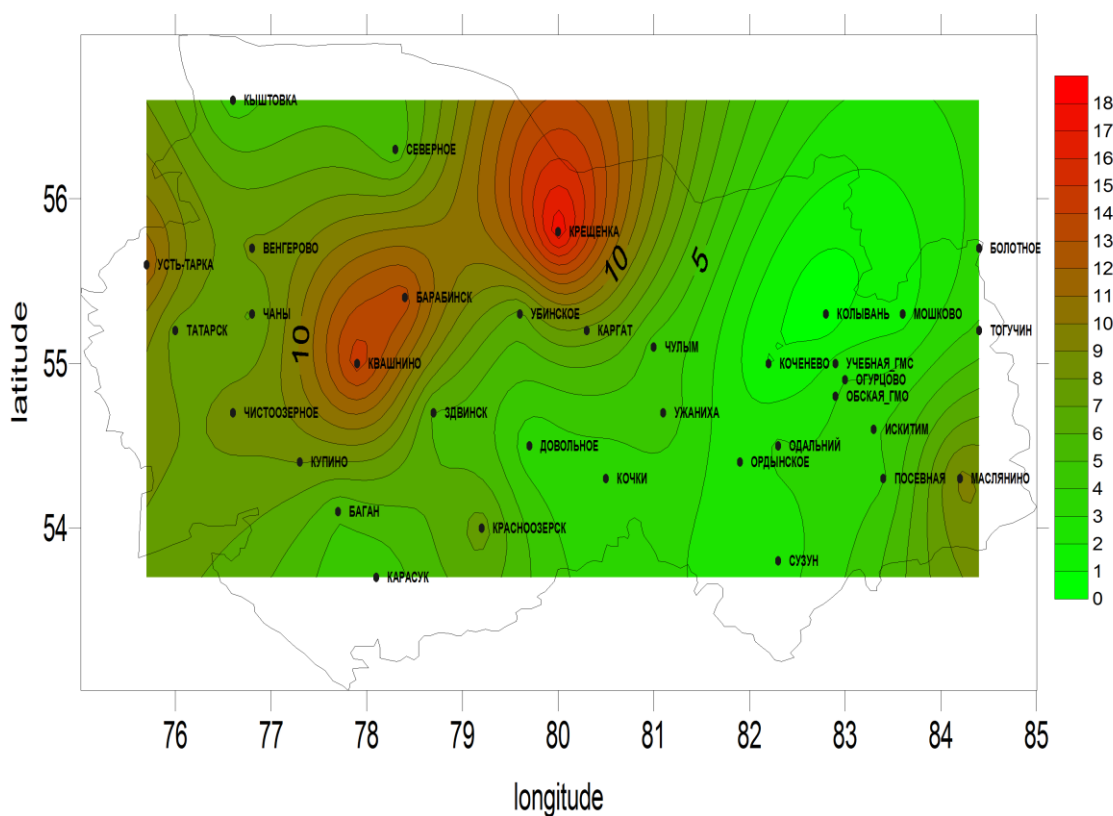


Рисунок Г27 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 26 по 30.08.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

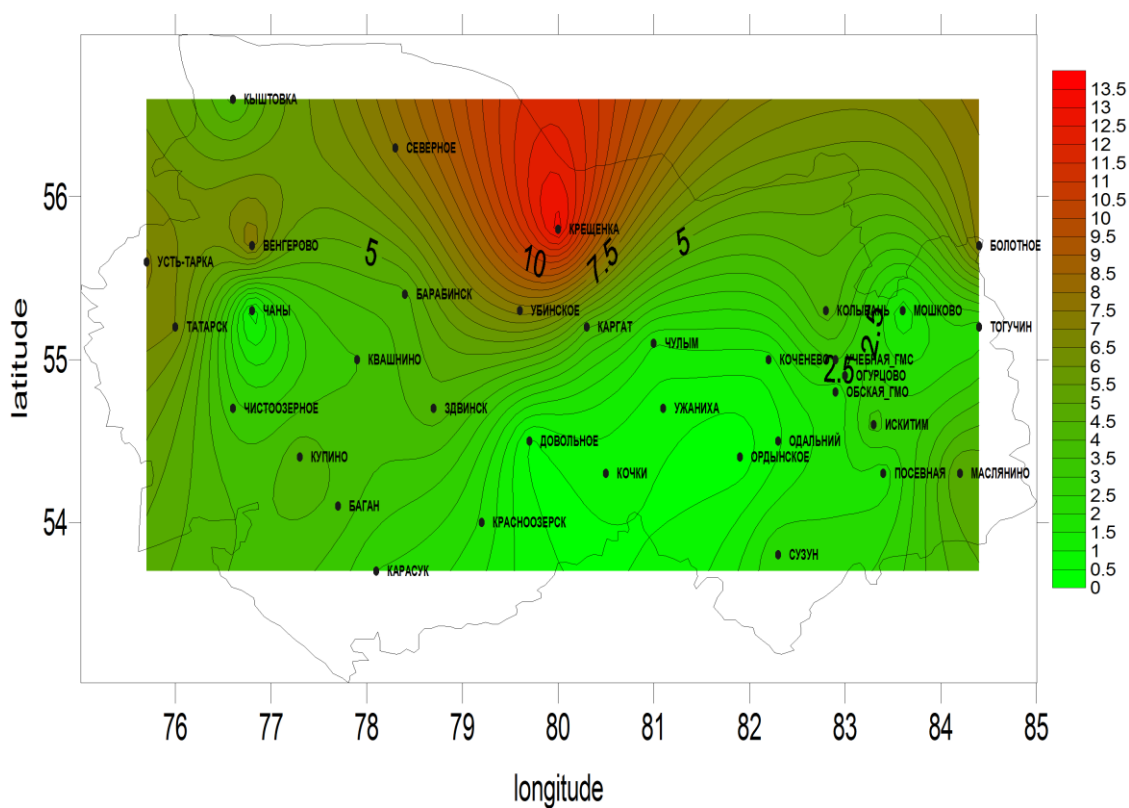


Рисунок Г28 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 26 по 30.08.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

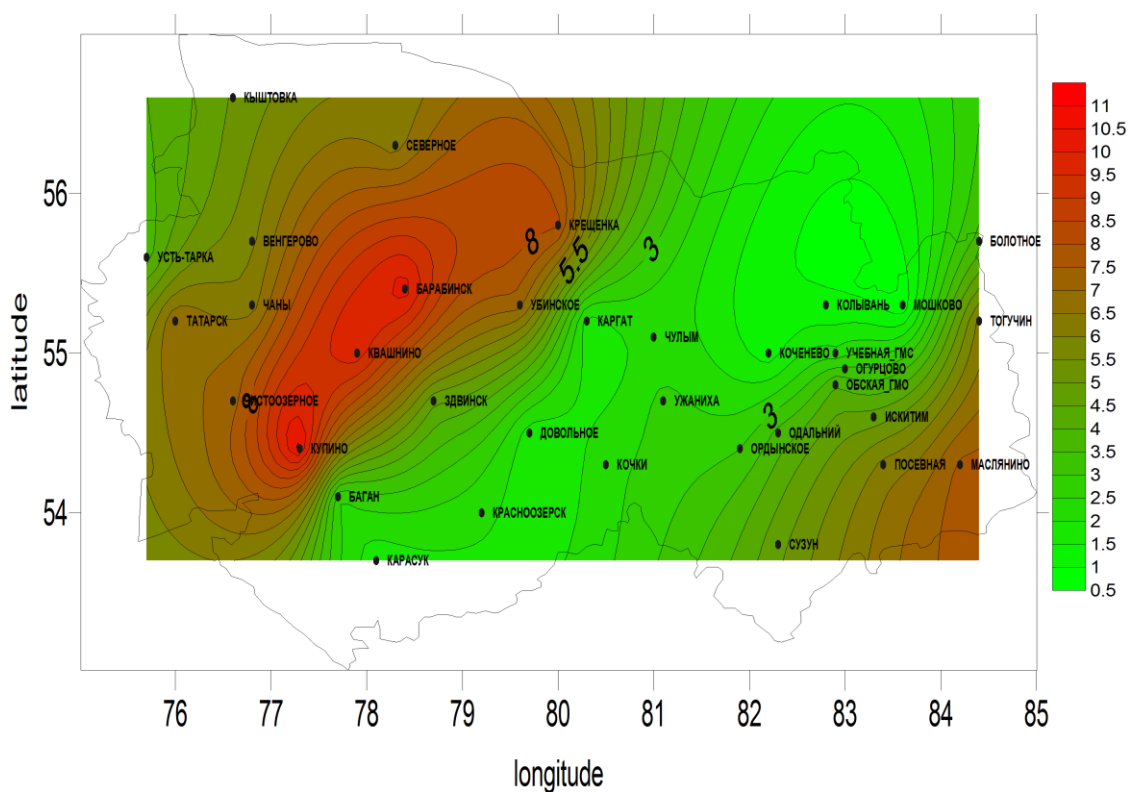


Рисунок Г29 – Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 26 по 30.08.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (ночь)

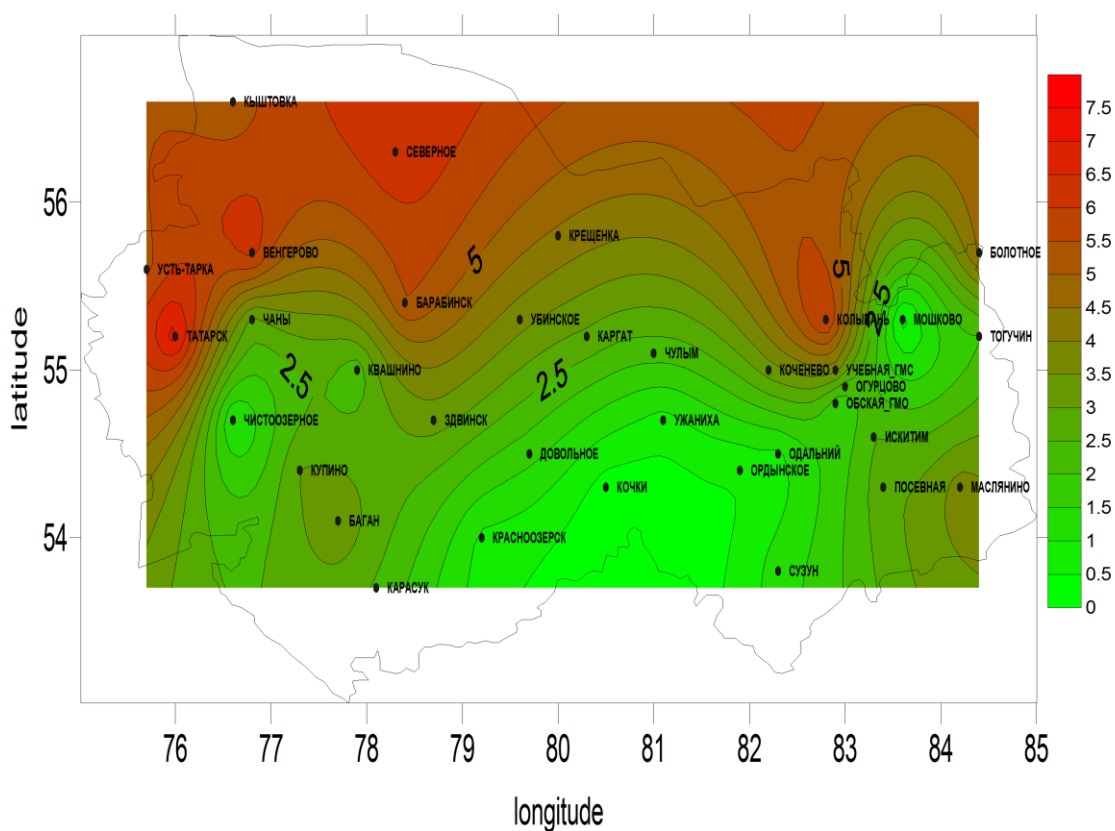


Рисунок Г30– Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 26 по 30.08.2016 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (ночь)

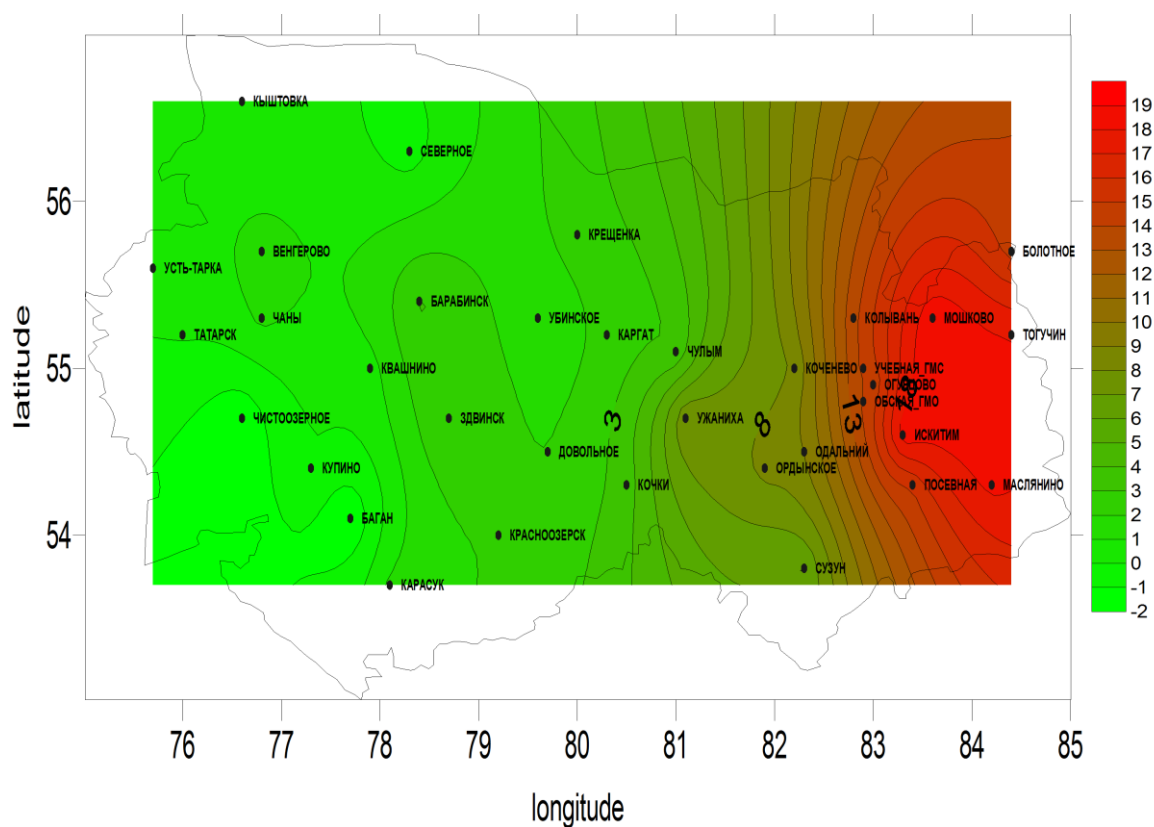


Рисунок Г31– Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 27 по 30.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (день)

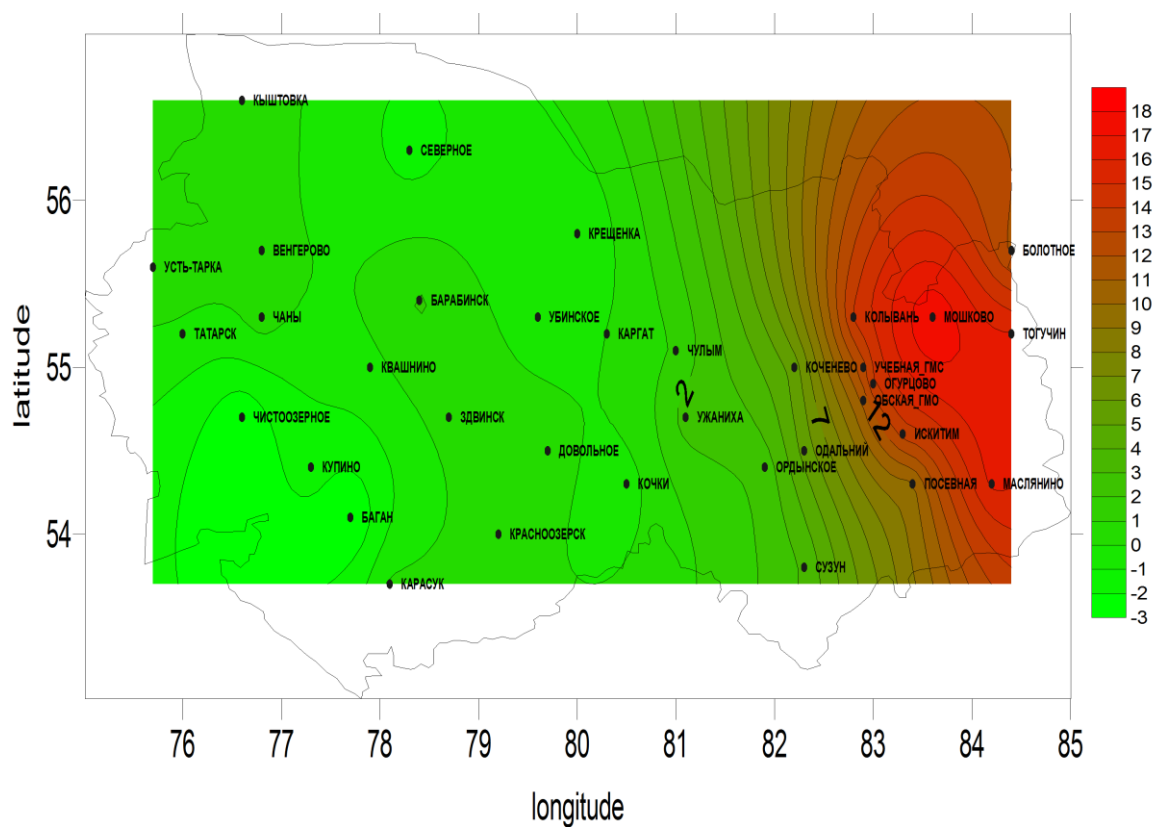


Рисунок Г32– Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 27 по 30.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (день)

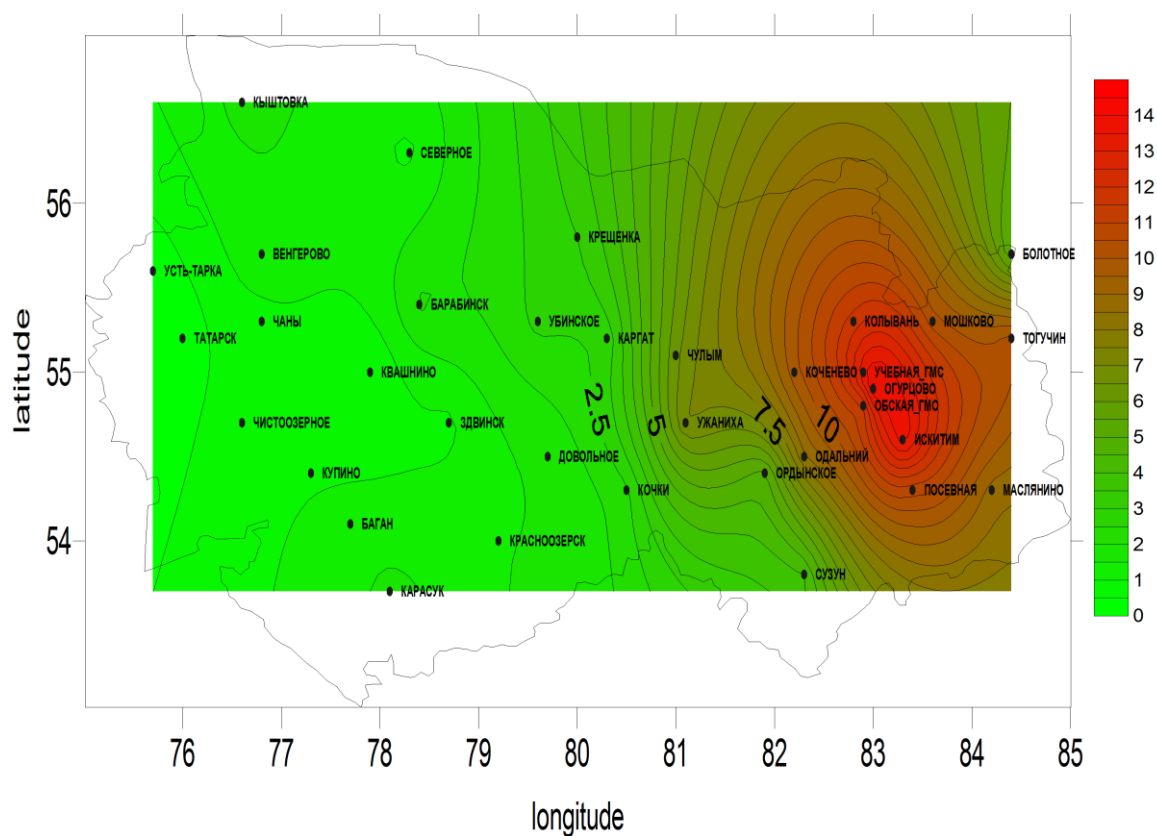


Рисунок Г33– Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 27 по 30.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 00 ВСВ (ночь)

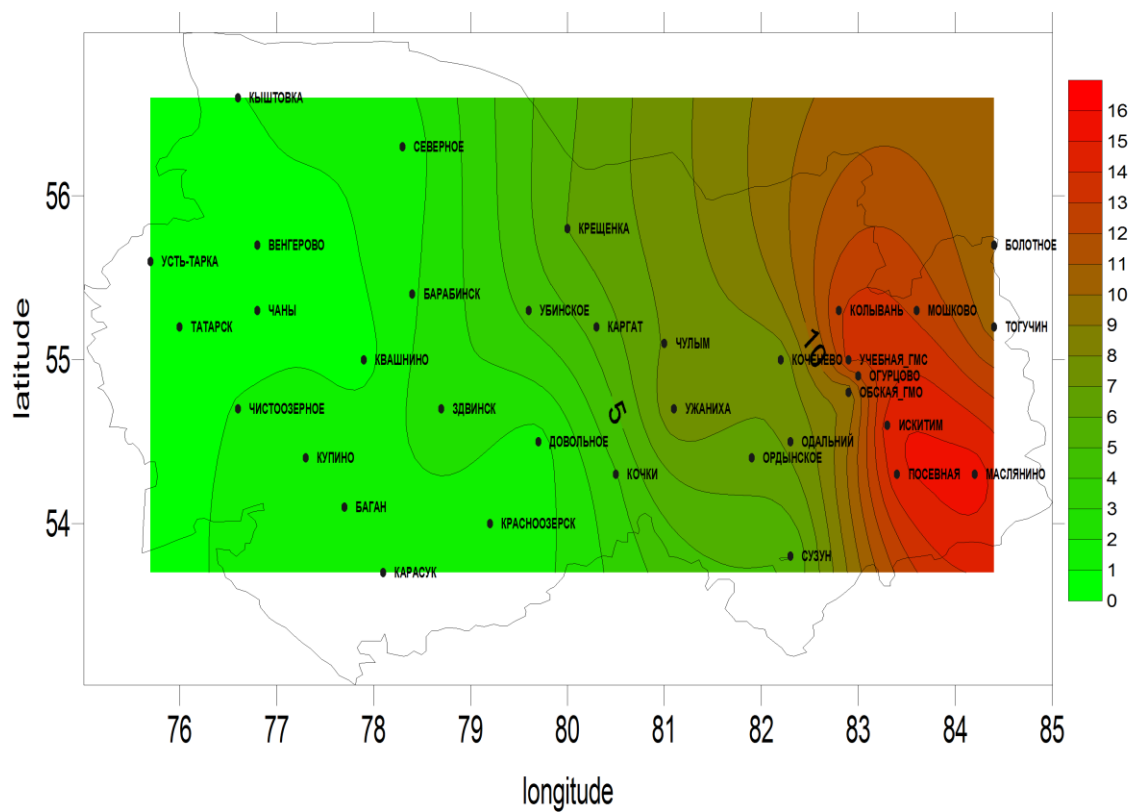


Рисунок Г34– Средняя арифметическая ошибка прогноза осадков за период с 27 по 30.05.2015 по Новосибирской области за расчетный срок 12 ВСВ (ночь)

[\(/index.php\)](#)Поиск заимствований в научных текстах^β[\(/index.php/ru/\)](#)[\(/index.php/en/\)](#)

Введите текст:

...или загрузите файл:

Файл не выбран...

[Выбрать файл...](#)

Укажите год публикации:

Выберите коллекции

Все

Рефераты

Авторефераты

Иностранные конференции

PubMed

Википедия

Российские конференции

Иностранные журналы

Российские журналы

Энциклопедии

Англоязычная википедия

[Анализировать](#)[Проверить по расширенному списку коллекций системы Руконтекст \(<http://text.rucont.ru/like>\)](#)

Обработан файл:

BP.pdf.

Год публикации: 2018.

Оценка оригинальности документа - 100.0%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 0.0%

[Просмотр заимствований в документе](#)

Время выполнения: 47 с.

Заимствования отсутствуют

[Значимые оригинальные фрагменты](#)[Библиографические ссылки](#)[Искать в Интернете](#)

100.00%

[Дополнительно](#)

