



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

Кафедра метеорологических прогнозов

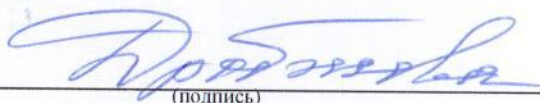
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему Вероятностный способ представления прогнозов экстремальных значений метеопараметров в долгосрочном прогнозе погоды

Исполнитель Смирнов Никита Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)
Цепелев Валерий Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

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

Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«9» июня 2018 г.

Санкт-Петербург
2018

Оглавление

Список сокращений	4
Введение.....	5
Глава 1. Ансамблевый прогноз.....	7
1.1. Существующие системы ансамблевого прогнозирования (САП).....	8
1.2. Типы САП.....	9
1.3. Основные виды прогностической продукции.....	13
1.4. Центры выпускающие САП.....	20
1.4.1. Европейский Центр Средсрочных прогнозов погоды	20
1.4.2. Гидрометцентр России.	24
1.4.3. КМА.....	25
1.4.4. NCEP.....	28
1.4.5. Environment Canada.....	29
Глава 2. Используемые модели и данные.....	31
2.1. Методы оценки качества прогнозов.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2. Используемая модель.....	36
2.3. Географический район оценки	37
2.4. Базы данных.....	38
2.5. Программное обеспечение.	39
Глава 3. Анализ и результаты исследования.....	43
3.1. Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по параметру RO за период с 2010-2014.....	43
3.2. Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по среднеквадратической ошибке за период с 2010-2014.....	45
3.3. Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по коэффициенту корреляции за период с 2010-2014	50
3.4. Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по показателям ROC за период с 2010-2014.....	53
3.5. Сравнение графиков параметра RO и коэффициента корреляции	63
Выводы.	66

Список источников	70
Приложение А	72

Список сокращений

САП	-	Системы ансамблевого прогнозирования
ПЛАВ	-	Полулагранжевый вихрь адвекции
ЧПП	-	Численное прогнозирование погоды
ФРВ	-	Функции распределения вероятности
ПППСР	-	Показательный проект по прогнозированию явлений суровой погоды
ДСУМ	-	Средний уровень моря
ЕЦСПП	-	Европейский Центр среднесрочных прогнозов погоды
КМА	-	Корейское Метеорологическое Управление
БД	-	База данных
ВМО	-	Всемирная метеорологическая организация

Введение

Потребность общества в метеорологических прогнозах на месяц несомненна. Рост народонаселения и технический прогресс способствуют возрастанию уязвимости общества к катастрофическим и неблагоприятным природным явлениям.

Проблема увеличения предела предсказуемости метеорологических величин относится к фундаментальным научным проблемам. Для нелинейной системы практически невозможно предсказать конкретный ход ее развития, так как реальные начальные условия никогда не могут быть заданы с абсолютной точностью.

Еще совсем недавно задача долгосрочного прогноза решалась только на основе эмпирических методов, которые опираются на анализ данных наблюдений за прошедший период и в той или иной степени являются прогнозом по аналогу. В них так же используются статистические связи между прогнозируемыми переменными и предикторами, дальние связи, цикличность временных рядов. Быстрый прогресс вычислительной техники и развитие гидродинамического моделирования позволили перейти к решению задач долгосрочного прогноза на основе использования глобальных моделей атмосферы и океана.

Но на современном уровне результаты эмпирического и гидродинамического методов пока оказываются близкими. Успешность прогнозов по обоим методам во внетропических широтах остается низкой. Однако в будущем преимущество остается на стороне физического подхода. Эмпирические методы, базирующиеся на ограниченных выборках данных наблюдений учитывают лишь небольшую часть влияющих факторов. Поэтому обнаруженные ими связи оказываются неустойчивыми во времени и непригодны для прогнозирования нестационарных процессов.

Современные гидродинамические модели учитывают значительно большее количество факторов и опираются на физические законы. Они также имеют ограничения, связанные с недостаточным пространственным разрешением и неполнотой исходных данных, что приводит к ошибкам моделей и сказывается на качестве прогнозов. Но ошибки моделей удается частично нивелировать на основе ансамблевого прогнозирования.

Конечной целью нашего исследования является определение возможностей системы ансамблевого прогнозирования (САП), созданной на базе модели ПЛАВ, разработанной в Гидрометцентре РФ, для разработки прогнозов значительных положительных и отрицательных аномалий приземной температуры воздуха в различные сезоны года.

Использование САП для прогнозов температуры воздуха на месяц и сезон на сегодняшний день является приоритетом развития долгосрочных прогнозов погоды. Для прогнозирования температуры воздуха в настоящий момент в РФ используются синоптико-статистические, статистические и гидродинамические методы. Все эти методы имеют приблизительно похожие оценки качества, но перспектива развития и дальнейшего совершенствования наиболее ясно проглядывается только для САП, созданных на базе гидродинамических моделей. Для значительного улучшения качества синоптико-статистических и статистических методов необходимо существенно расширить ряд наблюдений, используемых в методах, в несколько раз, что пока сделать невозможно.

1. Ансамблевый прогноз.

Системы численного прогнозирования погоды используют современные численные модели атмосферы и помогают прогнозисту в производстве прогнозов погоды. При этом многие модели обеспечивают хорошее отображение метеорологических условий и могут применяться для подготовки автоматизированных прогнозов погоды. Ансамблевая система прогноза позволяет не только более точно предсказать состояние атмосферы, но и показать, где и когда прогноз заслуживает большего или меньшего доверия [10].

Выходная продукция моделей лучше воспроизводит одни метеорологические элементы по сравнению с другими (например, приземная температура представлена лучше, чем осадки). Однако, общеизвестно, что прогнозы даже на базе самых лучших моделей часто оказываются неверными. Прогноз погоды, осуществляется по результатам анализа состояния атмосферы. Модель рассчитывает, как параметры атмосферы будут изменяться и развиваться. Теория хаоса подразумевает, что изменение атмосферных процессов очень восприимчиво к незначительным ошибкам в этом предварительном анализе. Маленькая ошибка анализа может привести к значительной ошибке в прогнозе. Поэтому мы не можем составлять идеальные прогнозы. Поэтому для прогноза используются ансамбли. Системы ансамблевого прогнозирования позволяют оценить неопределенность в прогнозе погоды. Вместо детерминированного прогноза модель прогоняется несколько раз с разными исходными условиями. Отдельные решения, составляющие ансамбль, называются членами ансамбля. Серия различных решений позволяет оценить неопределенность прогноза. Неопределенность может варьироваться изо дня в день в зависимости от синоптической ситуации, а система ансамблевого прогнозирования обеспечивает оценку неопределенности. Система

используется для подготовки вероятностных прогнозов, чтобы оценить вероятность наступления того или иного решения. При этом рекомендуется, чтобы информация о неопределенности присутствовала для каждого прогноза, что отражено в Руководящих принципах представления неопределенности прогнозов (PWS-18, WMO/TD-№.1422).

В настоящее время проблема выпуска месячных и сезонных прогнозов стала одной из ключевых проблем деятельности ВМО. Сегодня, к сожалению, уровень успешности существующих прогностических систем на месяц незначительно выше уровня климатических прогнозов.

Так, например, по данным созданного ретроспективного архива модельных прогнозов ПЛАВ и стационарным наблюдениям выполнен сравнительный анализ структуры временных рядов приземной температуры воздуха. Оказалось, что хотя в целом модель воспроизводит сезонный ход, но занижает амплитуду и изменчивость и не воспроизводит структуру временных колебаний. Для дальнейшей работы по совершенствованию методов метеорологических прогнозов на месяц и сезон, полезных для территории умеренных широт и территории РФ, необходимо составить единый план численных экспериментов по оценке общей и избирательной предсказуемости на месяц и сезон.

1.1. Существующие системы ансамблевого прогнозирования.

Системы ансамблевого прогнозирования (САП) представляют собой системы численного прогнозирования погоды (ЧПП), которые позволяют нам оценивать неопределенность в прогнозе погоды, а также наиболее вероятный исход. Вместо прогона модели ЧПП один раз (детерминированный прогноз) модель прогоняется много раз с несколькими различными исходными условиями. Во многих случаях физика модели бывает также несколько возмущенной, а некоторые ансамбли используют более

одной модели внутри ансамбля (мультимодельная САП) или одну и ту же модель, но с различными комбинациями схем физической параметризации (мультифизическая САП). Из-за **высокой** стоимости многократного прогона модели ЧПП САП обычно прогоняется примерно с половиной горизонтального разрешения эквивалентной модели детерминированного ЧПП. Обычно САП включает контрольный прогноз, который использует модель с ансамблевым разрешением, но без каких-либо возмущений для анализа или модели. Отдельные решения ЧПП, которые составляют ансамбль, часто называются членами ансамбля. Серия различных решений в прогнозе позволяет оценивать неопределенность прогноза и то, насколько мы можем быть уверены в детерминированном прогнозе.

Неопределенность прогноза погоды может широко варьироваться изо дня в день в зависимости от синоптической ситуации, а САП обеспечивает оценку этой повседневной неопределенности. САП предназначена для исследования функции распределения вероятности (ФРВ) прогноза и часто используется для подготовки вероятностных прогнозов, чтобы оценить вероятность наступления определенных исходов [1].

1.2. Типы САП.

Существуют три основных типа САП для применения в прогнозировании погоды – глобального, регионального и конвективного масштабов, и, как и в случае с моделями детерминированного ЧПП, они охватывают различные временные масштабы в прогнозе. В каждой из этих категорий существует множество вариаций, например, то, каким образом появляются возмущения и как используются модельные вариации в самих моделях; тем не менее, принципы использования ансамблей остаются теми же, но в настоящей публикации эта информация подробно не приводится. (Можно отметить, что ансамбли также используются для долгосрочного

прогнозирования и предсказания климата. ~~Принципы очень схожи, но они не будут рассматриваться в этих руководящих указаниях, которые сосредоточены на прогнозах с заблаговременностью до 15 дней, т.е. на периоде, в течение которого во многих случаях возможно прогнозировать метеорологические условия на каждый день).~~

Глобальные САП обычно предназначены и используются для среднесрочного прогнозирования на 3-15 суток вперед. Они используют глобальные модели ЧПП и прогоняются с низким разрешением с обычным шагом сетки от 30 до 70 км. Хотя они предназначены, в первую очередь, для использования на средние сроки, их глобальный охват означает, что они также могут использоваться для подготовки краткосрочных прогнозов САП в регионах земного шара, где другие САП недоступны, и могут являться единственным доступным вариантом для многих стран-членов ВМО. В этом контексте они широко используются для подготовки продукции в целях поддержки нескольких проектов в рамках Показательного проекта по прогнозированию явлений суровой погоды (ППСП). Прогнозистам, использующим глобальные САП, всегда следует помнить, что относительно низкая разрешающая способность сетки будет ограничивать детали, которые они могут ожидать в прогнозах. Глобальные САП часто не способны представлять такие детали как, к примеру, полная сила скорости ветра во время шторма.

САП на основе региональных моделей или моделей по ограниченному району (ЛАМ) используют региональные модели по меньшим по площади районам и больше ориентированы на краткосрочный прогноз на 1-3 дня вперед. Они используют шаг сетки с более высоким разрешением, чем глобальные САП, обычно от 7 до 30 км, что позволяет им прогнозировать больше локальных элементов метеорологических условий, а также лучше воспроизводить интенсивные метеорологические системы. Тем не менее, прогнозист должен помнить об ограничениях разрешения; к примеру, от

региональных САП не следует ожидать возможности прогнозирования элементов мелкомасштабных систем, таких как грозы.

Региональная САП должна воспринимать свои граничные условия (метеорологические системы, движущиеся в район из внешней части области) из глобальной САП. Некоторые региональные САП используют региональный анализ с высоким разрешением и рассчитывают соответствующие возмущения с высоким разрешением, а другие просто берут начальные условия и возмущения из той же глобальной САП, которая обеспечивает граничные условия – это обычно называется уменьшением масштаба. В САП уменьшенного масштаба прогноз необходимо прогонять в течение нескольких часов, прежде чем модель сможет «раскрутить» элементы с более высоким разрешением.

ЧПП конвективного масштаба с шагом сетки модели 1-4 км, прогоняемой по относительно небольшим районам, теперь имеются в ряде более развитых центров ЧПП. Эти модели, иногда называемые моделями, позволяющими учитывать конвекцию, способны представлять некоторые элементы больших конвективных систем и тем самым могут попытаться спрогнозировать такие элементы как местоположение и интенсивность гроз. Хотя это обеспечивает большие потенциальные возможности для улучшения прогнозов, конвективные системы развиваются очень быстро и имеют предсказуемость на короткие временные масштабы, в силу чего прогнозы могут перейти в состояние, при котором господствует случайность. Поэтому системы ансамблевого прогнозирования весьма актуальны для ЧПП конвективного масштаба, поскольку конвективная нестабильность добавляет новый масштаб неопределенности прогноза, не представленной моделями с более низким разрешением и с гораздо более короткими временными масштабами [12].

Помимо самой конвекции модели с таким разрешением значительно расширили возможности для прогнозирования других характерных

особенностей локальных метеорологических условий, таких как низкая облачность и видимость для авиации.

Многие из этих явлений в значительной степени подвержены воздействию топографических условий, что может привести к повышению предсказуемости, когда такое воздействие (например, склоны, береговые линии, растительность, альбедо) может быть отображено моделями (например, возникновение конвекции или долинный туман). САП конвективного масштаба имеют возможность представлять информацию о предсказуемости всех этих метеорологических элементов.

На ~~момент написания данных руководящих указаний~~ в 2011 г. САП конвективного масштаба находились в стадии разработки в различных центрах. В Германии Метеорологическая служба Германии **запустила** систему COSMO-DE-EPS с разрешением 2,8 км в предоперативном режиме с декабря 2010 г. Метеорологическое бюро Соединенного Королевства и Метео-Франс планируют ввести такие системы в ближайшем будущем, кроме того, исследования проводятся и в других странах. Из-за очень высокой стоимости прогона САП конвективного масштаба вряд ли они будут доступны в течение многих лет за пределами стран-производителей, а опыт их использования до сих пор весьма ограничен. ~~Они лишь кратко рассматриваются в настоящих руководящих указаниях.~~ Ожидается, что гораздо более высокое разрешение САП конвективного масштаба обеспечит лучшее разрешение многих метеорологических явлений, чем это возможно с глобальной и региональной САП, например, локальных ветров, подверженных воздействию рельефа поверхности, и, по всей видимости, таких элементов, как низкая облачность и видимость, особенно в тех местах, где эти явления подвержены влиянию характерных особенностей местности или поверхности земли.

Применительно к осадкам модели способны лучше представлять интенсивность и пространственные масштабы локальных осадков, в

особенности конвективных осадков. Тем не менее, для того, чтобы исследовать весь спектр неопределенности в конвективных осадках, потребуются очень большие ансамбли с сотнями или тысячами членов, которые не будут доступны в обозримом будущем. В связи с этим настоятельно рекомендуется выполнять последующую обработку САП конвективного масштаба, используя такие методы, как обработка соседних значений (где предполагается, что такая характеристика как конвективный ливень может быть реальной, но он может сместиться и произойти где-нибудь в близлежащем районе, скажем, в пределах 10 шагов сетки от того места, где он появляется в модели) для обеспечения более реального пространственного распределения вероятностей. Подобные методы также подходят для других переменных параметров с учетом небольших размеров ансамблей [1].

1.3. Основные виды прогностической продукции

Прогностические системы, основанные на использовании ансамблей, предоставляют доступ к большому количеству выходной продукции. Есть различные способы представления прогностических ансамблей. Самый простой способ - это карты средних по ансамблю. В ранних работах отмечались случаи устойчивого преимущества при использовании среднего по ансамблю. Простое осреднение по всем членам ансамбля может, помимо обычного сглаживания мелкомасштабных особенностей, привести к полному искажению реально развивающейся ситуации. При этом роль даже одного члена может оказаться очень важной.

Широко используются карты стандартного отклонения, характеризующие разброс внутри ансамбля. С их помощью возможно определить зоны наибольшей изменчивости метеорологических полей и наименьшей надежности прогнозов.

Разброс значений параметров в ансамбле хорошо отражает «дымовой шлейф» (plume), который используется для визуализации растущего разброса со временем метеорологических величин.

Для визуализации прогнозов так же используются карты «спагетти» (spaghetti) –, на которых с помощью характерной изолинии одновременно представлены все члены ансамбля, и карты «стампов» (postage stamps), - карты в размер почтовых марок, представляющие все возможные сценарии развития атмосферных процессов в ансамбле.

Наиболее полным представлением прогностической продукции являются карты распределения вероятностей явлений погоды – аномалий температуры и осадков, снежного покрова и т.д. Интерпретация «стампов» оставляет синоптику в апостериорном виде, то есть когда после экстремальных погодных явлений исследователи внимательно анализируют набор прогнозов по полученному ранее ансамблю.

Целый ряд основных видов продукции производится большинством САП непосредственно на основе выходных полей моделей. Как правило, к их числу относятся следующие виды продукции.

1) Средняя величина по ансамблю. Это простое среднее значение параметра между всеми членами ансамбля. Средняя величина по ансамблю обычно лучше обеспечивает проверку оправдываемости, чем контрольный прогноз по наиболее стандартным оценкам оправдываемости (среднеквадратическая ошибка, средняя абсолютная ошибка, коэффициент временной корреляции аномальных значений и т.д.), поскольку она сглаживает непредсказуемые элементы и просто представляет более предсказуемые элементы прогноза. Это может предоставить хороший ориентир на элемент прогноза, который можно спрогнозировать с уверенностью, но которому нельзя доверять как таковому, т. к. он будет редко улавливать риск наступления экстремальных явлений.

2) Разброс по ансамблю. Рассчитывается как (несмещенное) стандартное отклонение выходной переменной модели и обеспечивает меру уровня неопределенности параметра в прогнозе. Часто указывается на картах с наложением средней величины по ансамблю. На рисунке 1 контурами черного цвета показаны величины среднего давления по ансамблю, приведенные к среднему уровню моря (ДСУМ), а заливкой разного цвета – разброс ДСУМ. Районы, выделенные резкими цветами, указывают на больший разброс и, следовательно, более низкую предсказуемость.

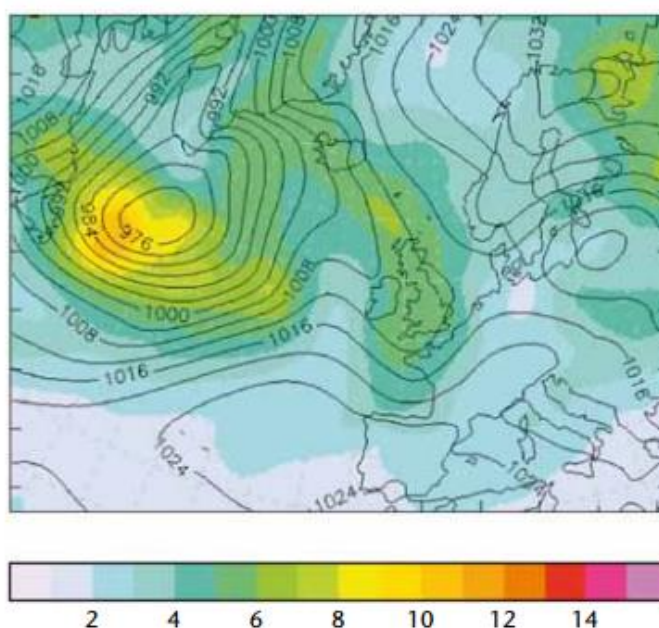


Рисунок 1.1 - Средние величины

3) Базовая вероятность. Вероятность часто оценивается как простое соотношение членов ансамбля, которые прогнозируют наступление события в конкретном месте или точке сетки, например, температуру (на уровне 2 м) ниже 0° по Цельсию или более чем одно стандартное отклонение ниже нормы. На рисунке 2 заливкой разного цвета показана вероятность порывов ветра более 40 узлов. Среднее по ансамблю давление, приведенное к СУМ, также включено в виде контуров серого цвета. Следует отметить, что данное определение вероятности не является истинной байесовской вероятностью,

как было бы определено специалистом по статистике, но оно обеспечивает полезную оценку для практических целей. Оно содержит предположение, что модель точно отражает климатическое распределение наступления события. Вероятностные прогнозы, подготовленные таким образом, должны всегда проверяться на больших выборках случаев, чтобы определить степень, с которой прогностические вероятности соотносятся с наблюдаемой частотой. Пример, приведенный на рисунке 3, был подготовлен для проекта в южной части Тихого океана ~~в рамках более крупного ИИИСП.~~

4) Квантили. Набор квантилей распределения ансамбля может обеспечить краткое описание неопределенности. Обычно используются максимальные и минимальные квантили распределения ансамбля, а также 25-й, 50-й (медиана) и 75-й процентиля. Среди других часто используются 5-й, 10-й, 90-й и 95-й процентиля.

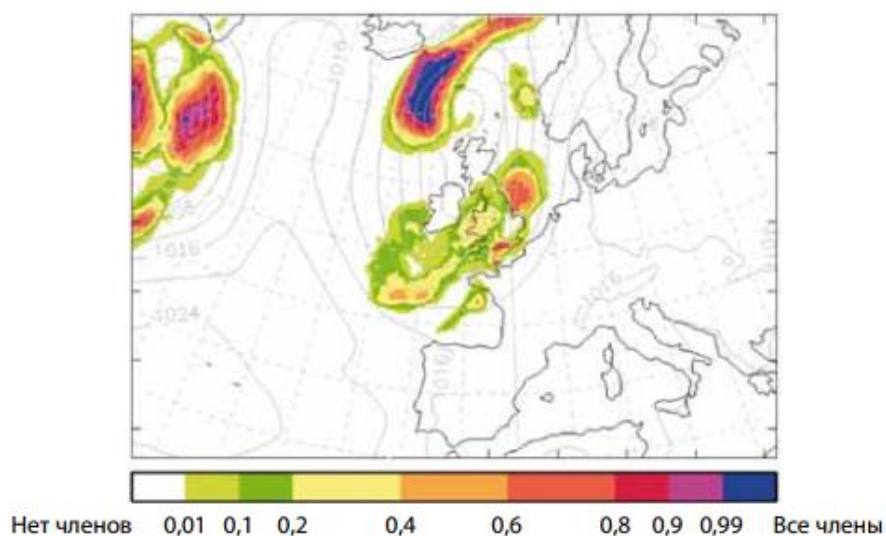


Рисунок 1.2 - Карта вероятности порывов ветра более 40 узлов по данным региональной системы MOGREPS на 16 июля 2010 г. в 03.00 МСВ

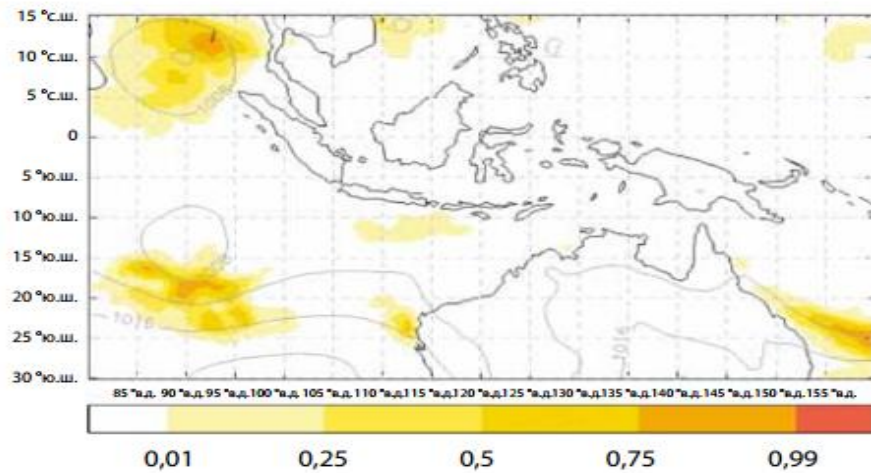


Рисунок 1.3 - Карта вероятности скорости ветра более 20 узлов на уровне 10 м по данным глобальной системы MOGREPS на 5 ноября 2010 г. в 00.00 МСВ (на 48 часов от 3 ноября 2010 г. в 00.00 МСВ); среднее по ансамблю давление, приведенное к СУМ, нанесено как слабый фон.

5) Карты-спагетти. Карты, показывающие несколько выбранных контуров переменных (например, контуры 528, 546 и 564 Дм высоты геопотенциальной поверхности 500 гПа) из всех членов ансамбля, могут дать полезное изображение предсказуемости поля. Там, где все контуры членов ансамбля расположены близко друг к другу, предсказуемость выше; там, где они выглядят как спагетти на тарелке, предсказуемость ниже (см. рисунок 1.4).

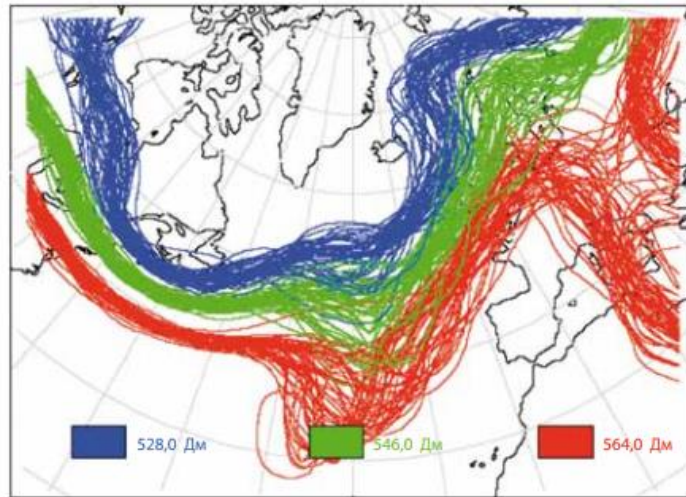


Рисунок 1.4 - Графики-спагетти ансамблевого прогноза высоты геопотенциала на уровне 500 гПа на 11 февраля 2001 г. в 12.00 МСВ (на 96 часов от 7 февраля 2001 г. в 12.00 МСВ)

б) Карты-почтовые марки. Набор небольших карт, показывающих контурные диаграммы отдельного взятого члена каждого ансамбля (см. рисунок 5), позволяет прогнозисту рассматривать сценарии в прогнозе каждого члена и оценивать возможные риски экстремальных явлений. Однако это большой объем информации, который, возможно, будет трудно усвоить.

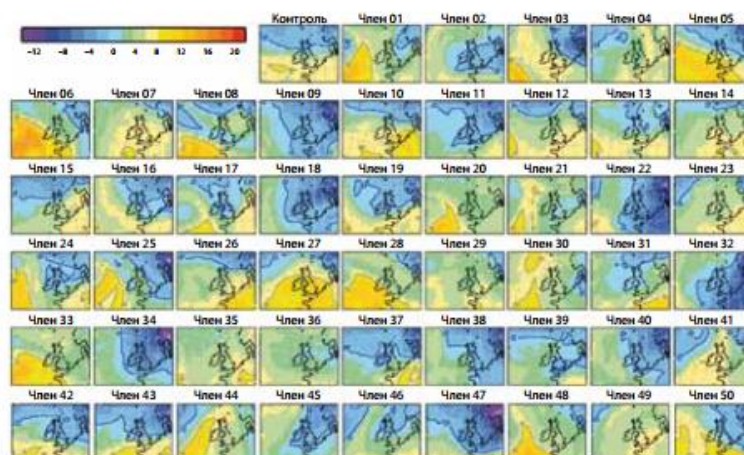


Рисунок 1.5 - Карта-почтовая марка на 7 февраля 2009 г.

7) Метеограммы. Выходные переменные модели можно брать из сетки для конкретных мест. Существует множество презентаций, которые могут использоваться для представления прогноза на местах, например, графики шлейфа и вероятности осадков. Одним из наиболее часто используемых средств является метеограмма ансамбля (или САП-грамма), которая использует диаграмму вида «ящик с усами» для иллюстрации основных процентильных пунктов прогностического распределения для одной или нескольких переменных (см. рисунок 6).

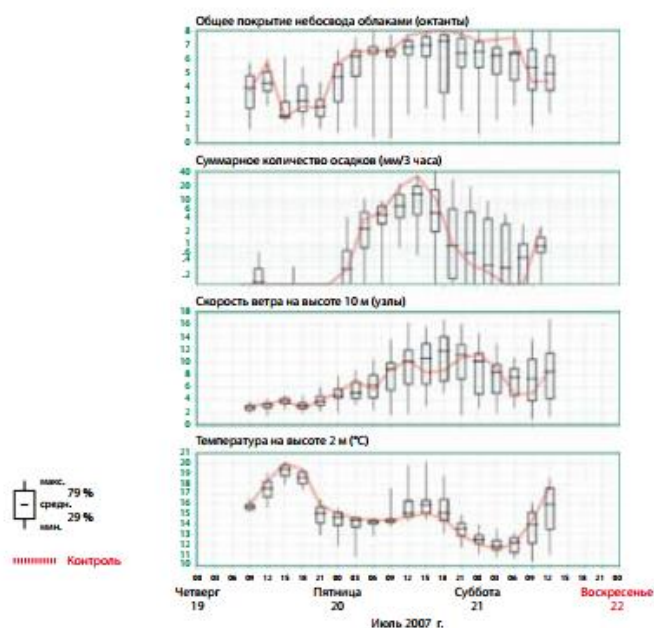


Рисунок 1.6 - Метеограмма европейской САП системы MOGREPS для Брайз Нортон (51,8 °с.ш., 1,6 °з.д.) с 19 июля 2007 г. в 09.00 МСВ по 21 июля 2007 г. в 12.00 МСВ

1.4. Центры, выпускающие ансамблевые прогнозы.

Таблица 1.1 – Центры выпускающие САП

Центры	Типы САП						
	Метеограммы	Спагетти	Квантил и	Разброс по ансамбл ю	Базовая вероятност ь	Карты- почтовы е марки	Средняя величина по ансамблю
1. ECMWF	+	+/-	+	+	-	+	-
2. ГМЦ России(SEAKC)	+	+	+	+	-	-	+
3. CPTEC	-	-	-	-	-	-	+
4. NCEP	-	+	+	-	-	-	-
5. KMA	+	-	-	+	-	-	-
6. Environment Canada	+	-	+	-	-	-	-

1.4.1. Европейский Центр среднесрочных прогнозов погоды.

Европейский Центр среднесрочных прогнозов погоды стремится обеспечить точные средние прогнозы погоды по всему миру до 15 дней и сезонные прогнозы до 12 месяцев. Его продукция предоставляется национальным метеорологическим службам своих государств-членов и сотрудничающих государств в качестве дополнения к их национальной краткосрочной и климатологической деятельности, и эти национальные государства используют продукты ЕЦСПП для выполнения своих собственных национальных обязанностей, в частности для обеспечения раннего предупреждения потенциально опасной суровой погоды.

Основной задачей ЕЦСПП является:

1) Производить численные прогнозы погоды и контролировать планетные системы, которые влияют на погоду.

2)Проведение научно-технических исследований для улучшения навыков прогнозирования.

3)Вести архив метеорологических данных.

Для выполнения этой основной задачи Центр предоставляет:

1)Ежедневные глобальные численные прогнозы погоды.

2)Анализ качества воздуха.

3)Мониторинг состава атмосферы.

4)Мониторинг климата.

5)Анализ циркуляции океана.

6)Гидрологическое прогнозирование.

Центр разрабатывает и управляет глобальными атмосферными моделями и системами ассимиляции данных для динамики, термодинамики и состава атмосферы Земли и взаимодействующих частей земной системы. Он использует численные методы прогнозирования погоды для подготовки прогнозов и их начальных условий и способствует мониторингу соответствующих частей системы Земли.

Прогнозы ансамбля:Один «ансамблевый прогноз» состоит из 51 отдельных прогнозов, сделанных одной и той же компьютерной моделью, которые активируются с одного и того же начального времени. Исходные условия для каждого члена ансамбля несколько отличаются, а значения физических параметров также незначительно отличаются. Различия между этими членами ансамбля, как правило, растут по мере продвижения прогнозов, то есть по мере увеличения прогнозируемого времени выполнения.

Данный центр использует:

1) Почтовые марки:

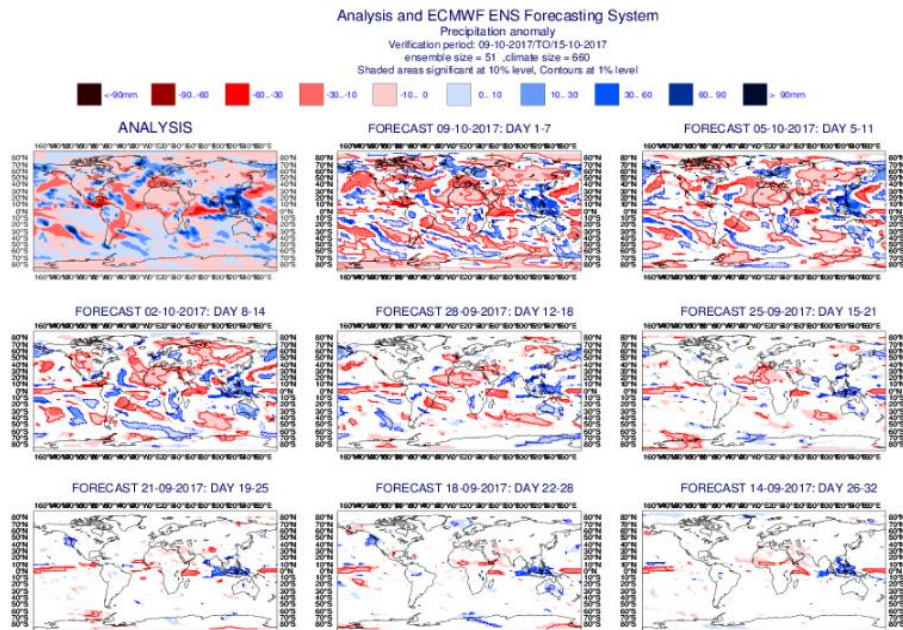


Рисунок 1.7 - Почтовые марки выпускающиеся в Европейском Центре
среднесрочных прогнозов погоды

2) Метеограммы

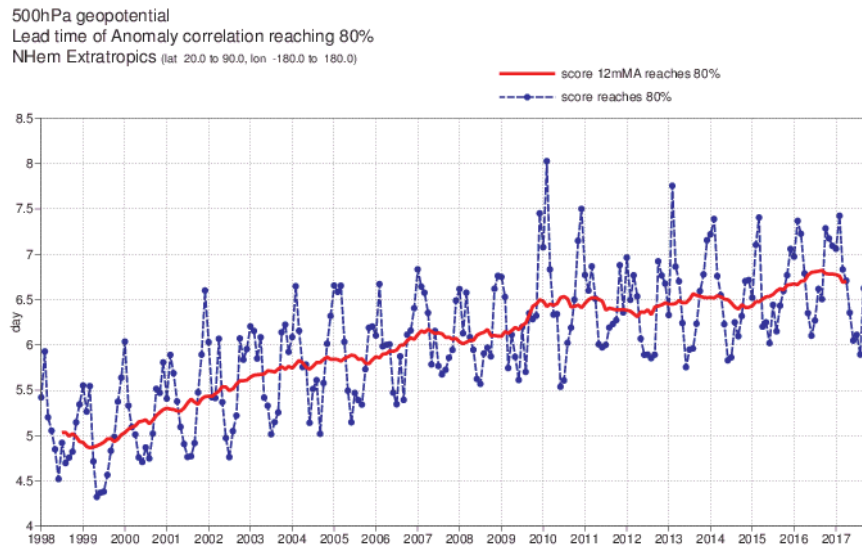


Рисунок 1.8 - Метеограммы выпускающиеся в Европейском Центре
среднесрочных прогнозов погоды

3) Разброс по ансамблю

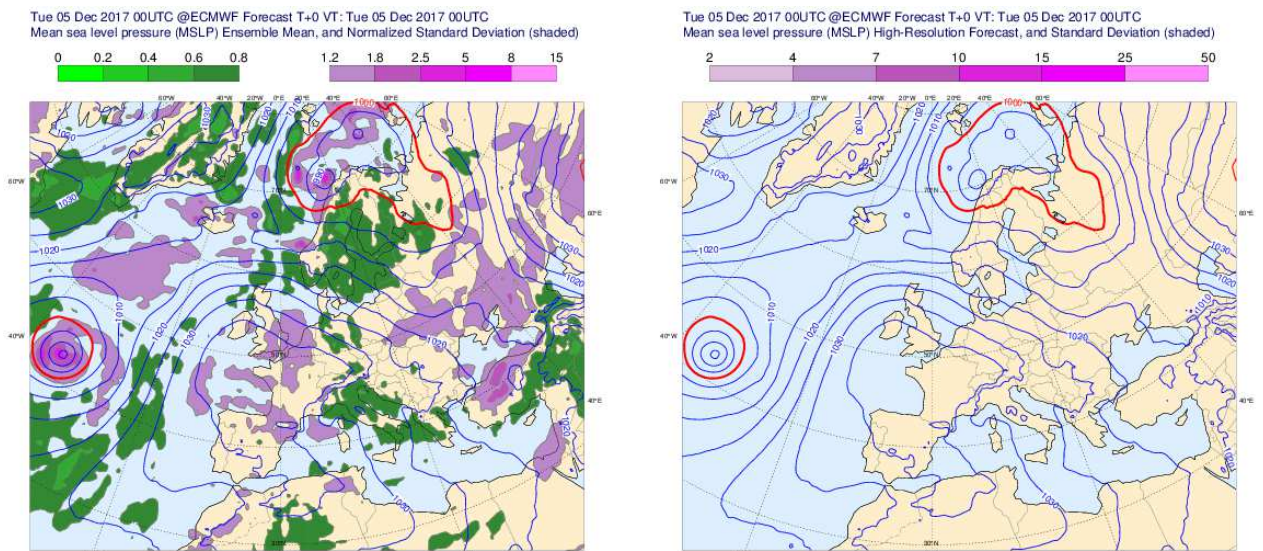


Рисунок 1.9 - Разброс по ансамблю выпускающийся в Европейском Центре среднесрочных прогнозов погоды

4) Квантили

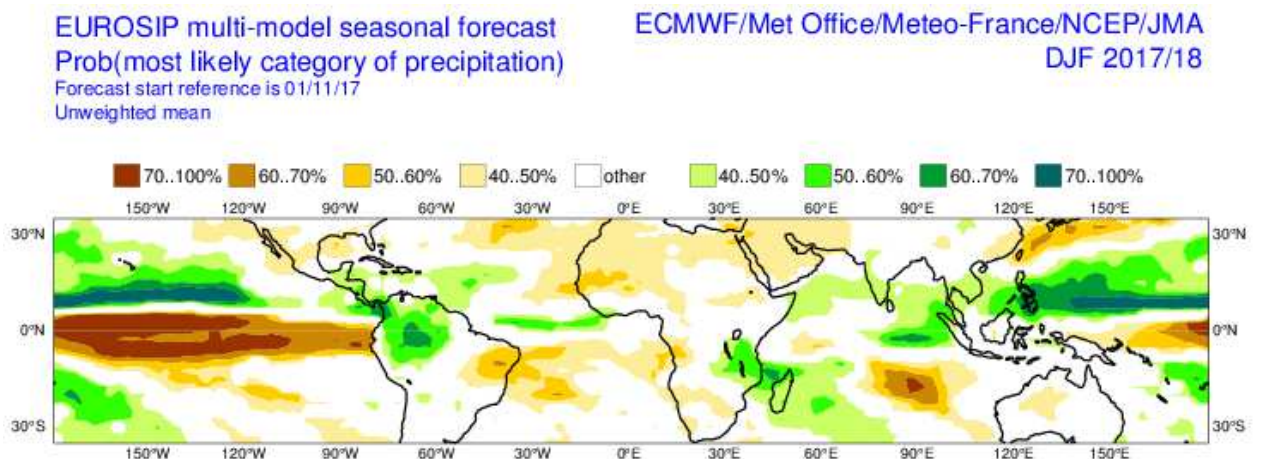


Рисунок 1.10 - Квантили выпускающиеся в Европейском Центре среднесрочных прогнозов погоды

1.4.2. Гидрометцентр России (СЕАКЦ)

Прогноз погоды – это описание будущей эволюции состояния атмосферы на основе результатов численного интегрирования во времени уравнений гидротермодинамики атмосферы. Для решения этой задачи необходимо знание начального состояния атмосферы, которое

характеризуется пространственным распределением скорости ветра, температуры, влажности, приземного давления, альбедо поверхности и т.д. и определяется с использованием данных наблюдений и специальных процедур их усвоения. Число данных наблюдений мало по сравнению с числом степеней свободы атмосферы, наблюдения неоднородно распределены в пространстве и во времени, к тому же они содержат инструментальную ошибку. Поэтому начальное состояние атмосферы всегда определяется (и будет определяться) неточно. Фактически начальное состояние атмосферы, от которого начинается интегрирование уравнений прогноза, можно рассматривать только как наилучшее приближение к истине. Это имеет принципиальное значение, так как за счет хаотической и нелинейной динамики атмосферы даже очень малые ошибки в начальном состоянии могут привести к существенным ошибкам в описании эволюции атмосферы. Добавим также, что модели атмосферы, используемые для численного прогноза погоды, несовершенны – они имеют (и всегда будут иметь) конечное разрешение, некоторые процессы в атмосфере не учитываются или описываются параметрически.

Среднее по ансамблю дает лучшую (по сравнению с единичным, детерминированным прогнозом) оценку первого момента распределения состояний атмосферы в будущем (в частности за счет того, что осреднение позволяет отфильтровать непредсказуемые эффекты в прогнозе), а разброс прогностических характеристик в ансамбле может рассматриваться как индикатор возможной точности прогноза. Кроме того, ансамбли прогнозов дают разнообразную информацию о вероятности различных событий (вероятности выпадения осадков, порывов ветра и т.п.) [13] .

Методы ансамблевого прогнозирования развиваются чрезвычайно интенсивно. Практически все ведущие метеорологические центры имеют системы ансамблевого прогноза – глобальные и/или региональные. В Гидрометцентре России также была разработана и реализована система ансамблевого кратко- и среднесрочного прогноза. Система была основана на использовании модели низкого разрешения (около 150 км по горизонтали), имела небольшой объем выходной продукции и не отвечала требованиям, предъявляемым к оперативным системам прогноза. К сожалению, долгое время развитие системы сдерживалось недостаточностью компьютерных ресурсов.

1.4.3.КМА.

Корейское Метеорологическое Управление (КМА) как правительственная метеорологическая организация отвечает за выпуск информации о землетрясениях, цунами и извержениях вулканов. Администрация наблюдает за сейсмическими и приливными явлениями и извержениями вулканов, собирает соответствующие данные со своих общенациональных станций наблюдения в режиме реального времени и анализирует эти данные с использованием своих комплексных систем обработки данных.

Эти мероприятия наблюдаются Национальным центром землетрясений и вулканов (NEVC) КМА. NEVC контролирует сейсмическую активность, цунами и извержения вулканов на Корейском полуострове и вокруг него в течение 24 часов в день, чтобы смягчить землетрясения, цунами и вулканические катастрофы и своевременно предоставлять информацию и предупреждения. Этот центр выполняет различные работы: мониторинг

сейсмической активности в стране, анализ сейсмограмм для определения района источника и величины землетрясения, своевременное предоставление сейсмической информации и предупреждений о цунами, а также создание сейсмической базы данных (БД) с необработанными и событийными данными и т.д. А так же этот центр выпускает ансамблевые прогнозы. Данный центр использует:

1. Разброс по ансамблю

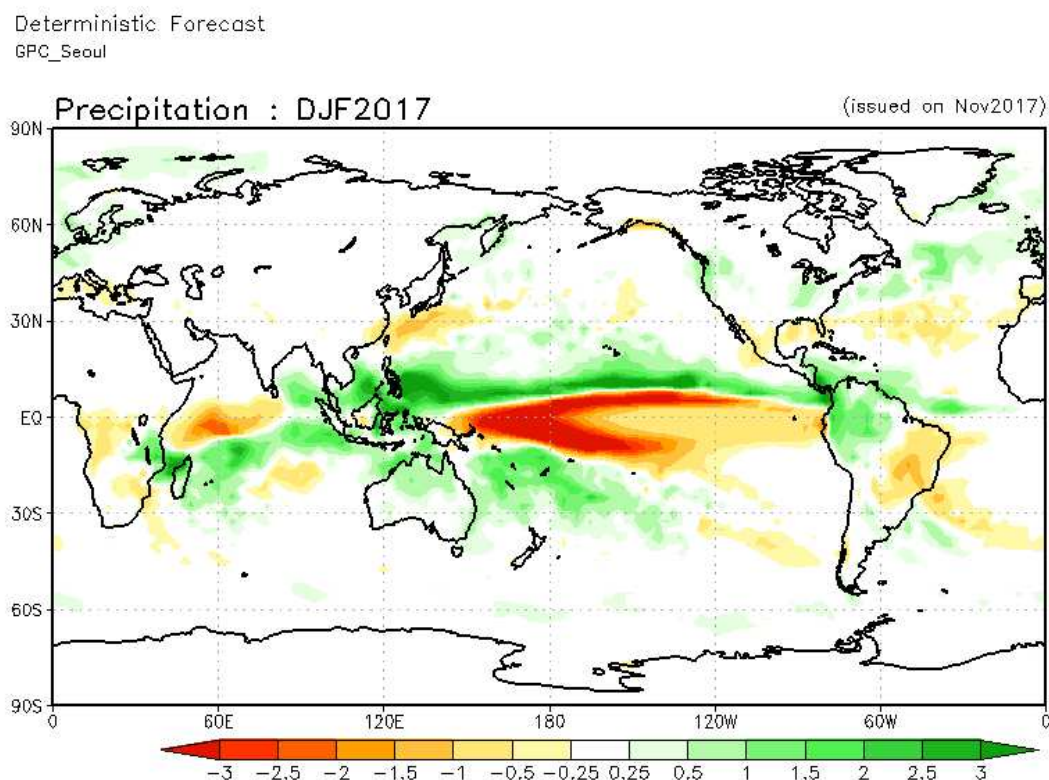


Рисунок 1.11 - Разброс по ансамблю

2. Квантили

Probabilistic Forecast
GPC_Seoul

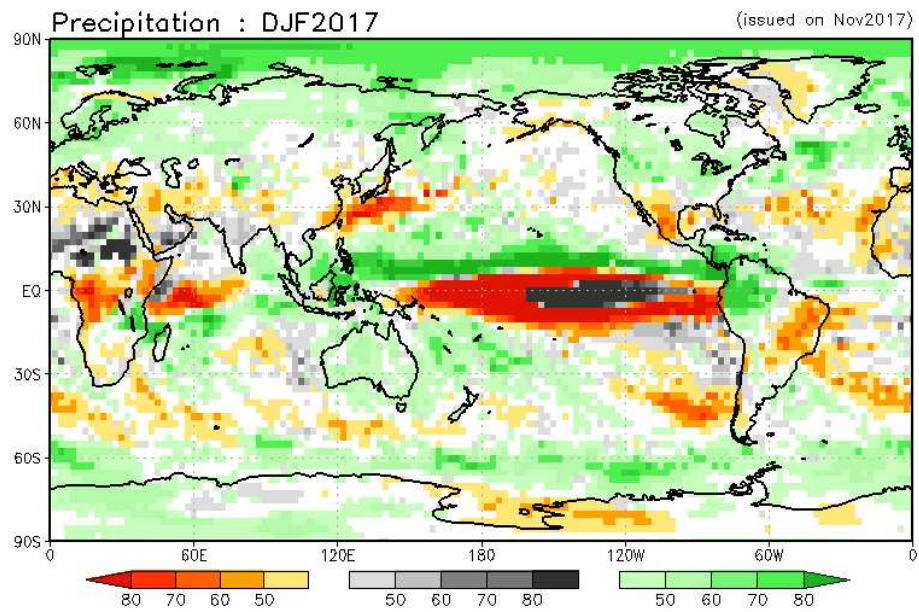


Рисунок 1.12 - Квантили

3. Метеограмма

Forecast of Arctic Oscillation Index

Forecast Model : GLOSEA5

Dec2017 to May2018 (issued on Nov2017)

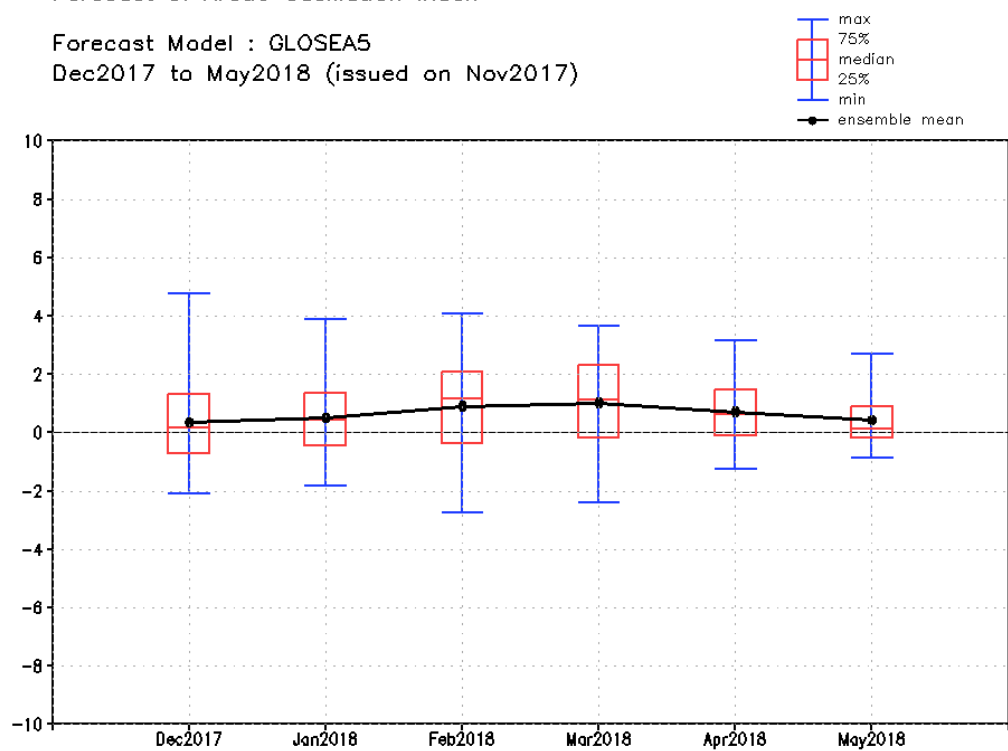


Рисунок 1.13 – Метеограмма

1.4.4. NCEP

Данный центр использует:

1. Квантили

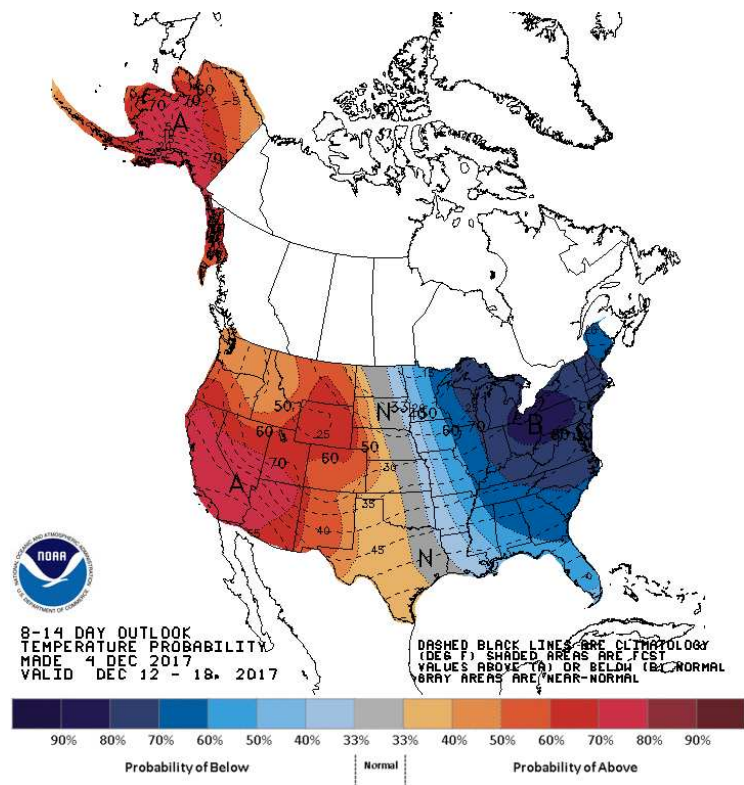


Рисунок 1.14 - Квантили

2. Спагетти

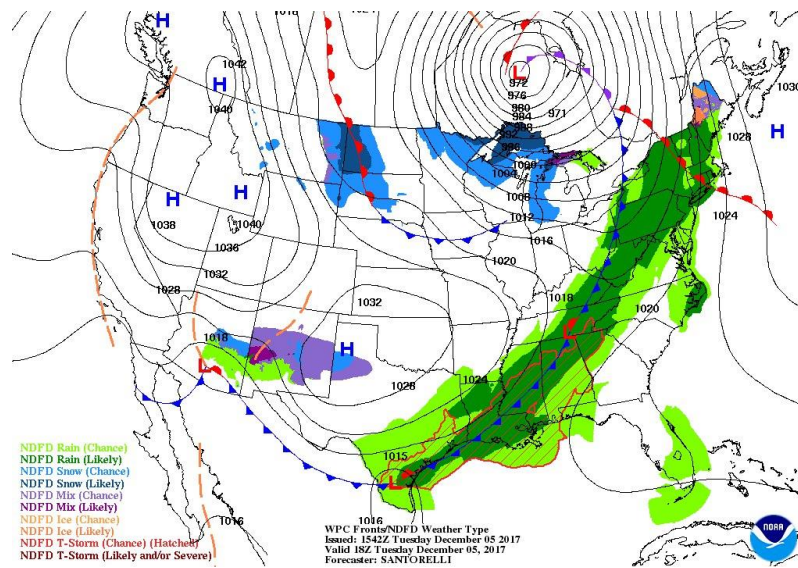


Рисунок 1.15 - Спагетти

1.4.5.Environment Canada.

1. Среднее по ансамблю

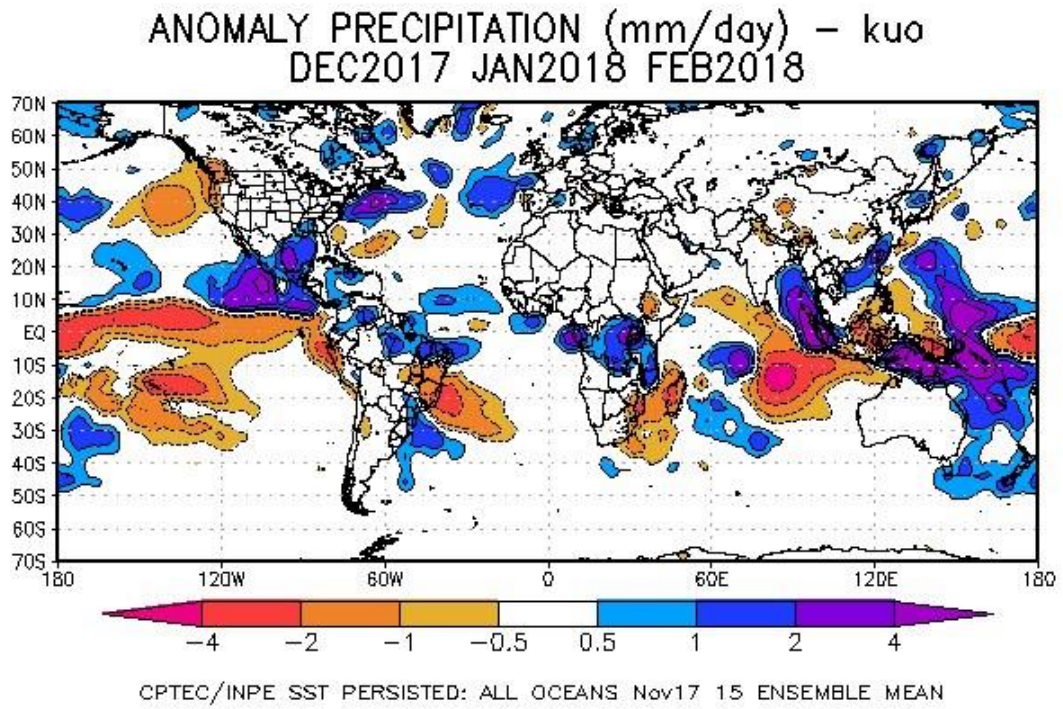


Рисунок 1.16 – среднее по ансамблю

1) Метеограмма

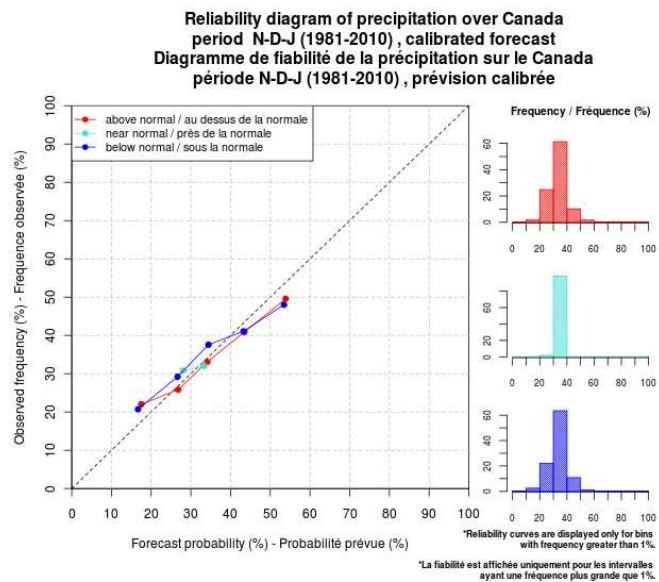


Рисунок 1.17 - Метеограмма

2) Квантили

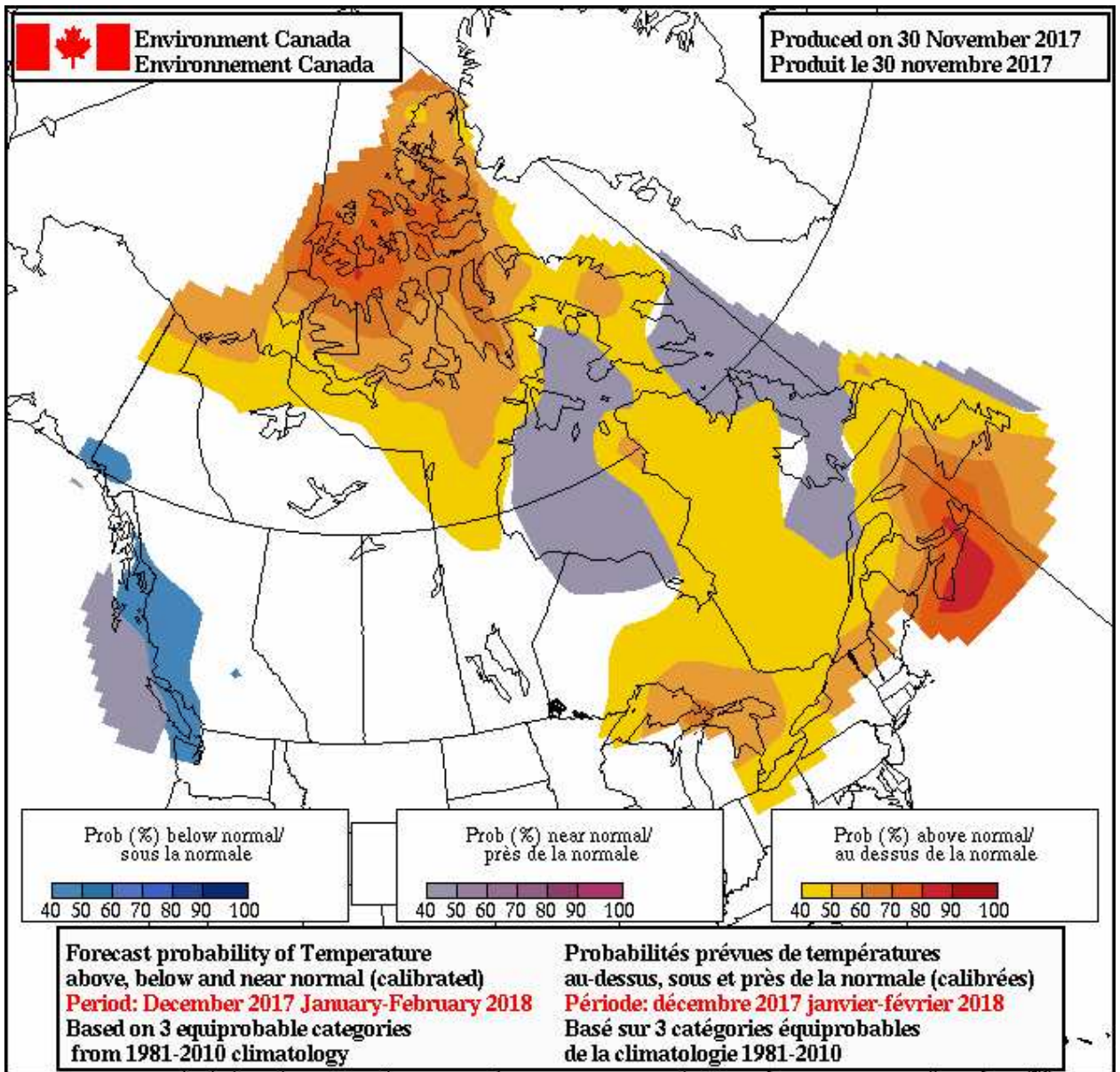


Рисунок 1.18 - Квантили

2.Используемые модели и данные.

Численные ансамблевые долгосрочные прогнозы в Гидрометцентре России, рассчитываются по модели полулагранжевой глобальной модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ, разработанной в Гидрометцентре России совместно с Институтом вычислительной математики РАН [5]. Модель постоянно развивается и в использованной для исследования качества прогнозов версии были существенно улучшены блоки по параметризации коротко- и длинноволновой радиации, облачности, пограничного слоя, проведен учет влияния растительности и процессов влагообмена почвы, что позволило существенным образом улучшить описание процессов на поверхности суши. В марте 2012 года произошли изменения в размере прогностического ансамбля ПЛАВ. Ансамбль был увеличен с 10 до 20 членов в связи с переходом на новую версию модели ПЛАВ 2011. После успешного прохождения оперативных испытаний Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам Росгидромета приняла данную версию модели в качестве одного из компонентов системы вероятностного прогноза сезонных аномалий основных метеорологических параметров [6]. В настоящее время прогноз полей метеопараметров на месяц сезон выпускается в узлах регулярной сетки данных с пространственным разрешением 1.5 градуса по широте и долготе для всего земного шара.

При проведении оценки качества прогнозов был выбран в качестве района прогноза Европейский регион. Регион ограничен следующими географическими координатами: от 40 до 65 градусов северной широты и от 10 градусов западной долготы до 70 градусов восточной долготы. Период, за который проводилась оценка качества прогнозов, составляет 5 лет с 2010 по 2014 год. Количество проанализированных прогнозов составляет 60. В связи

~~е проблемами хранения архивов прогнозов по модели ПЛАВ, прогнозы за отдельные месяцы по этой модели отсутствуют.~~

2.1. Методы оценки качества прогнозов.

Показателем эффективности прогностической методики является качество прогнозов и сравнимость оценок.

Количественные оценки качества прогнозов, которые используются в исследовании, строились с учетом рекомендаций ВМО [6] и РД 52.27.284-91, а также накопленного опыта по составлению долгосрочных прогнозов в Гидрометцентре России. В качестве основных оценок детерминистических прогнозов использовались следующие показатели.

а) Критерий ρ - коэффициент корреляции знаков аномалий температуры воздуха

где n_+ и n_- соответственно число узлов сетки данных, в которых прогноз знака аномалии оправдался и не оправдался, N – общее число узлов сетки данных.

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{N} \quad 2.1$$

б) Среднеквадратичная ошибка (root mean squared error) прогноза

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_{ij} - x_{ij})^2 \right)^{1/2} \quad 2.2$$

n – длина ряда,

RMSE - средняя квадратическая ошибка

f_{ij} – прогностическое значение метеопараметра в узле сетки

x_{ij} – фактическое значение метеопараметра в узле сетки

с) Коэффициент корреляции аномалий (anomaly correlation coefficient)

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_{ij})(x_{ij} - \bar{x}_{ij})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (f_{ij} - \bar{f}_{ij})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2}} \quad 2.3$$

n – длина ряда

X_{ij} - фактическое значение метеопараметра в узле сетки

f_{ij} - прогностическое значение метеопараметра в узле сетки

d) Коэффициент Q

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i^2}{\sigma_i^2} \quad 2.4$$

Δ_i – систематическая ошибка методического прогноза

σ_i^2 - дисперсия климатического прогноза

Если $Q < 1$, то методический прогноз лучше климатического

Для оценки качества прогнозов f_{ij} в качестве данных фактических наблюдений x_{ij} использовались глобальные поля реанализа NCEP/NCAR-1 [4] полученные для основных метеопараметров в нижней и средней

тропосфере и представленные в узлах регулярной широтно-долготной сетки с пространственным разрешением 2.5 градуса по широте и долготе. Аномалии метеопараметров рассчитывались относительно нормы, полученной за период с 1981 по 2010 годы. Прогностические аномалии модели ПЛАВ рассчитывались относительно модельной нормы.

Поскольку оценка прогнозов проводилась для географического района, имеющего относительно небольшие размеры по географической широте (25°), то изменение длины меридиана в километрах на один градус не учитывалась при расчете оценок качества. Прогностические и фактические значения, представленные в узлах регулярной сетки расположенные в выбранном географическом регионе не нормировались на косинусы широт.

Для оценки качества вероятностных прогнозов аномалий температуры воздуха был использован показатель ROC, подробно описанный в Наставлении ВМО по глобальной системе обработки данных и прогнозирования [2]. В последние годы параметр ROC нашел широкое применение при проверке оправдываемости долгосрочных прогнозов погоды в вероятностной форме в ведущих прогностических центрах [3].

Сравнительная оперативная характеристика прогнозов (COX), в англоязычной литературе соответственно Relative Operating Characteristic (ROC) рассчитывается по группам прогнозов определенного явления (например, превышение температурой заданного критического уровня) с вероятностью не ниже заданного порога P_n . В каждой группе рассчитывается относительная доля удавшихся прогнозов (HR) и ложных тревог (FAR). Пары значений HR и FAR, полученные для разных уровней пороговой вероятности, представляют в виде графика (рис. 17). Линия равенства HR и FAR соответствует случаям отсутствия полезной прогностической информации. Интегральной оценкой COX является площадь под кривой графика соответствия HR и FAR. Для идеального прогноза $COX = 1$.

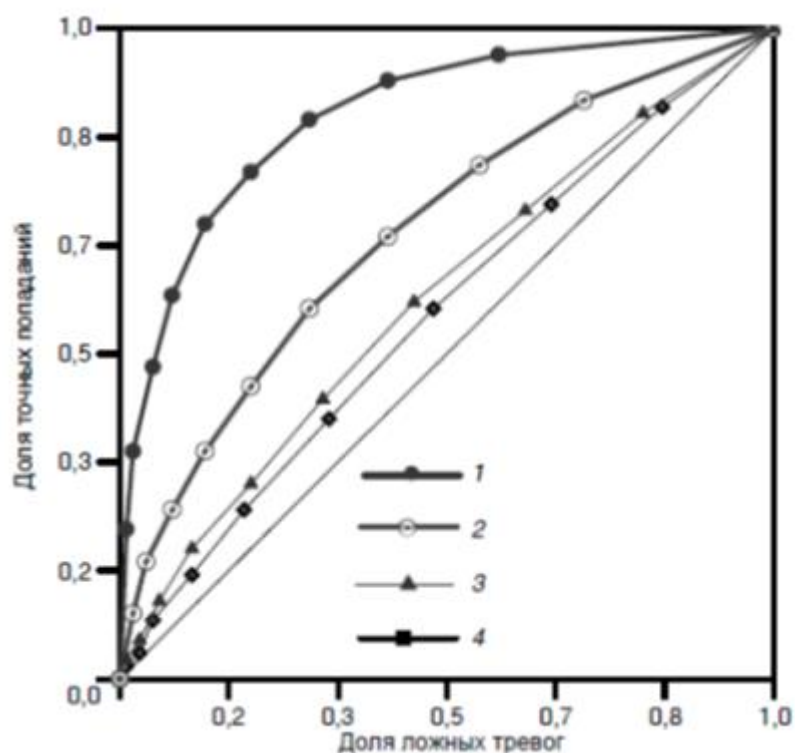


Рисунок 2.1 – Сравнительная оперативная характеристика (COX)

При известной априорной вероятности прогнозируемого явления значения HR и FAR позволяют рассчитать оценки потенциальной экономической эффективности прогностической информации в зависимости от параметра r , характеризующего степень зависимости потребителя от прогнозируемого явления, где: $r = C/L$ (здесь C и L — меры затрат на предотвращение ущерба и потерь соответственно).

Таблица 2.1. Сравнительная оперативная характеристика (COX) детализированных по неделям прогноза градации приземной температуры

Кривая	1	2	3	4
Неделя	1-я	2-я	3-я	4-я
Дни	2-8	9-15	16-22	23-29

В качестве такой оценки рассматривается относительный выигрыш потребителя при ориентации его на методический прогноз вместо климатического. Важной ее составляющей является выбор пороговой вероятности, при которой следует принимать прогноз во внимание.

В нашем случае рассматриваются три градации прогностических аномалий температуры воздуха (выше нормы, норма, ниже нормы). Для графического отображения градаций прогноза используется традиционная цветовая шкала (оттенки красного – градации вероятности осуществления положительной аномалии, оттенки зеленого - градации вероятности осуществления аномалии около нормы, оттенки синего - градации вероятности осуществления отрицательной аномалии).

Для каждой прогностической градации рассчитывается вероятность ее осуществления. Вероятность осуществления градации - это отношение числа случаев прогнозов, относящихся к данной градации, к общему объему выборки всех прогнозов. Соответственно, цветовые оттенки в направлении от светлого тона к темному означают возрастание значения вероятности. Равновероятные значения для всех градаций указывают на неопределенность прогноза и имеют заливку белого цвета.

2.2. Используемая модель.

В настоящей магистерской диссертации используются данные модели ПЛАВ. **Полулагранжевый** 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 [8], 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 [9], 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 [7].

Численные ансамблевые долгосрочные прогнозы в Гидрометцентре России, рассчитываются по модели полулагранжевой глобальной модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ, разработанной в Гидрометцентре России совместно с Институтом вычислительной математики РАН [5]. Модель постоянно развивается и в использованной для исследования качества прогнозов версии были существенно улучшены блоки по параметризации коротко- и длинноволновой радиации, облачности, пограничного слоя, проведен учет влияния растительности и процессов влагообмена почвы, что позволило существенным образом улучшить описание процессов на поверхности суши. В марте 2012 года произошли изменения в размере прогностического ансамбля ПЛАВ. Ансамбль был увеличен с 10 до 20 членов в связи с переходом на новую версию модели ПЛАВ 2011. После успешного прохождения оперативных испытаний Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам Росгидромета приняла данную версию модели в качестве одного из компонентов системы вероятностного прогноза сезонных аномалий основных метеорологических параметров [6]. В настоящее время прогноз полей метеопараметров на месяц-сезон выпускается в узлах

регулярной сетки данных с пространственным разрешением 1.5 градуса по широте и долготе для всего земного шара.

2.3. Географический участок.

Для проведения исследования был выбран Европейский регион. Координаты данного участка от 40 ° до 65 ° северной широты и от 10 ° восточной долготы до 70 ° восточной долготы.



Рисунок 2.2 – Европейский регион

2.4. Базы данных.

Программа AFRICA использует данные, полученные из 10 различных прогностических центров и научных проектов, которые поддерживаются оперативно:

- 1) Проект «Twentieth Century Reanalysis Project», поддерживаемый в U.S. Department of Energy, Office of Science Innovative and Novel Computational Impact on Theory and Experiment (DOE INCITE) program, and Office of

Biological and Environmental Research (BER), and by the National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Program Office.";

- 2) Проект «NCEP/NCAR Reanalysis 1», поддерживаемый в NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA;
- 3) Проект «GPCP Version 2.1.», поддерживаемый в NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA;
- 4) Проект «HADCRUT3», поддерживаемый в Hadley Centre, UK Met Office;
- 5) Проект «CAMS_OPI», поддерживаемый в Climate Prediction Center/NCEP/NWS/NOAA;
- 6) Отдел долгосрочных прогнозов ФГБУ «ААНИИ»;
- 7) «SILSO» Royal Observatory of Belgium Av. Circulaire, 3 - B-1180 Brussels, Belgium;
- 8) Отдел численного долгосрочного прогнозирования ФГБУ «Гидрометцентр России»;
- 9) Environmental Modeling Center, NCEP/NWS/NOAA;
- 10) UNISYS CORPORATION ("UNISYS"), US.

Все базы данных гидрометеорологических параметров, использующиеся программой, представлены в бинарном виде, в формате REAL, в узлах регулярной сетки, покрывающей весь Земной шар.

Данные ансамблевого прогноза

Для визуализации и интерпретации ансамблевого прогноза на 1 месяц вперед, используются данные прогнозов на месяц приземной температуры воздуха по модели ПЛАВ (Гидрометцентра РФ) для 28 членов ансамбля за период с января 2010 года по декабрь 2014 года по:

1. Температуре воздуха на высоте 2 метра (в градусах Цельсия);
2. Среднемесячным значения модельных дисперсий приземной температуры воздуха;
3. Среднемесячные модельные климатические нормы приземной температуры воздуха.

Данные получены из отдела долгосрочных прогнозов Гидрометцентра РФ. Данные представлены 60 бинарными файлами с прогностическими полями приземной температуры воздуха, 12 файлов с модельными климатическими нормами и 12 файлов модельных дисперсий.

Каждый файл состоит из 28 полей, содержащих в себе данные 28 членов ансамбля. Данные взяты в узлах регулярной сетки с шагом 144 узла по широте и 73 узла по долготе с шагом в 2.5 градуса.

Для чтения, обработки и визуализации данных прогнозов используется программное обеспечение «Africa».

2.2.3 Данные реанализа для оценки качества ансамблевых прогнозов

Для оценки качества прогнозов, в качестве данных фактических наблюдений, использовались глобальные поля реанализа NCEP/NCAR-1 [13] для основных метеопараметров в нижней и средней тропосфере, представленные в узлах регулярной широтно-долготной сетки с пространственным разрешением 2.5 градуса по широте и долготе.

Аномалии метеопараметров рассчитывались относительно нормы, полученной за период с 1981 по 2010 годы. Прогностические аномалии модели ПЛАВ рассчитывались относительно модельной нормы.

Поскольку оценка прогнозов проводилась для географического района, имеющего относительно небольшие размеры по географической широте

(250), то изменение длины меридиана в километрах на один градус не учитывалась при расчете оценок оправдываемости.

Прогностические и фактические значения, представленные в узлах регулярной сетки расположенные в выбранном географическом регионе не нормировались на косинусы широт.

Все базы данных гидрометеорологических параметров, использующиеся программой AFRICA [12], представлены в бинарном виде, в формате REAL, в узлах регулярной сетки, покрывающей весь Земной шар. Данные температуры воздуха на высоте 2 метра находятся в узлах регулярной Гауссовой сетке размерностью 192x94 узла. Пространственный шаг сетки составляет $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ по широте и долготе. Начало отсчета находится в точке с координатами 88.54° ю.ш. и 0.0° в.д., конечная точка имеет координаты 88.54° с.ш. и 358.125° в.д. Данные последовательно записаны по одному среднемесячному (среднесуточному) полю начиная с 1 января 1880 года по настоящий момент. Базы данных программы пополняются из Интернет ресурсов, при этом происходит перекодирование полученных оперативных данных во внутренние форматы баз данных. Оперативные данные для пополнения баз данных программы можно получить с Интернет ресурса [13].

2.5. Программное обеспечение.

Программа долгосрочного прогноза погоды AFRICA разработана и функционирует в программной среде IDL 8.1, имеющей несомненные преимущества перед аналогичными инструментами программирования в гидрометеорологической области применения. С помощью модернизированного программного обеспечения Africa и процедуры «Оценка качества вероятностного прогноза» было проведена оценка 60 прогнозов полученных из архива ансамблевых прогнозов модели ПЛАВ, построено 60

прогностических карт среднемесячных аномалий приземной температуры воздуха за период с 2010 по 2014 год в вероятностном виде.

Процедура «Оценка качества вероятностного прогноза» разработана для оценки качества вероятностных прогнозов погоды на месяц, день и сезон по ансамблевому методу. Переход к вероятностной форме представления прогноза подразумевает:

1) Рассмотрение прогностических аномалий по градациям (выше нормы, норма, ниже нормы) вместо детерминированных значений прогностического параметра. При этом для графического отображения градаций прогноза использована традиционная цветовая шкала: оттенки красного – градации вероятности осуществления положительной аномалии, оттенки зеленого - градации вероятности осуществления аномалии около нормы, оттенки синего - градации вероятности осуществления отрицательной аномалии.

2) Для каждой прогностической градации рассчитывается вероятность ее осуществления. Вероятность осуществления градации - это отношение числа случаев прогнозов, попадающих в данную градацию, к общему объему выборки из всех прогнозов. Цветовые оттенки в направлении от светлого тона к темному означают возрастание значения вероятности. Равновероятные значения для всех градаций указывают на неопределенность прогноза и имеют заливку белого цвета.

а) Для оценки качества вероятностных прогнозов был использован показатель ROC, подробно описанный в Наставлении ВМО по глобальной системе обработки данных и прогнозирования. В последние годы параметр ROC нашел широкое применение при проверке оправдываемости долгосрочных прогнозов погоды в вероятностной форме в ведущих прогностических центрах. Рассчитываются три параметра ROC - ROCB, ROCN, ROCA. Оценка для градаций норма, выше и ниже нормы проводятся по отдельности. В тех случаях, когда оценки качества вероятностного прогноза (ROCB, ROCN, ROCA) превышают величину 0.5, то это

свидетельствует о превышении успешности прогноза над случайным по каждой отдельно взятой градации.

b) Оценка качества проводится с использованием фактических значений метеопараметра, полученных из БД реанализа «NCEP/NCAR 1.0», на регулярной сетке с шагом 2.5 x 2.5 градуса. Оценка осадков проводится по БД дистанционного спутникового зондирования.

c) Оценка производится как для аномалий, так и абсолютных значений метеопараметров.

d) Оценка проводится для полей температуры на уровне 2 метра.

e) Оценка качества вероятностного прогноза проводится только для аномалий. Район оценки может быть любым и задается в меню.

f) Оценка проводится для среднесуточного, среднемесячного и среднесезонного прогнозов.

Для оценки качества прогноза с использованием программного обеспечения «Africa» вызывается процедура «Оценка качества вероятностного прогноза» и на экране появляется окно с картами. В окне в два ряда расположены 6 карт. Верхний ряд карт – прогностические поля температуры на уровне 2 метра, давления на уровне моря, количеству осадков, которые представлены в терминах вероятности. Нижний ряд карт – поля тех же параметров, но полученные в результате наблюдений.

Между каждой парой карт (прогностических и фактических), на середине экрана выведены в два ряда оценки прогнозов. Верхний ряд – оценки качества прогнозов по РО, коэффициенту корреляции и среднеквадратической ошибке. Если уровень статистической значимости коэффициента корреляции ниже 75% то значение не выводится на экран. Нижний ряд карт - три оценки вероятностного прогноза (ROCB, ROCN, ROCA).

На приведенном ниже рисунке показан пример оценки вероятностных прогнозов полей среднемесячных аномалий гидрометеорологических параметров за январь 2010 года [11].

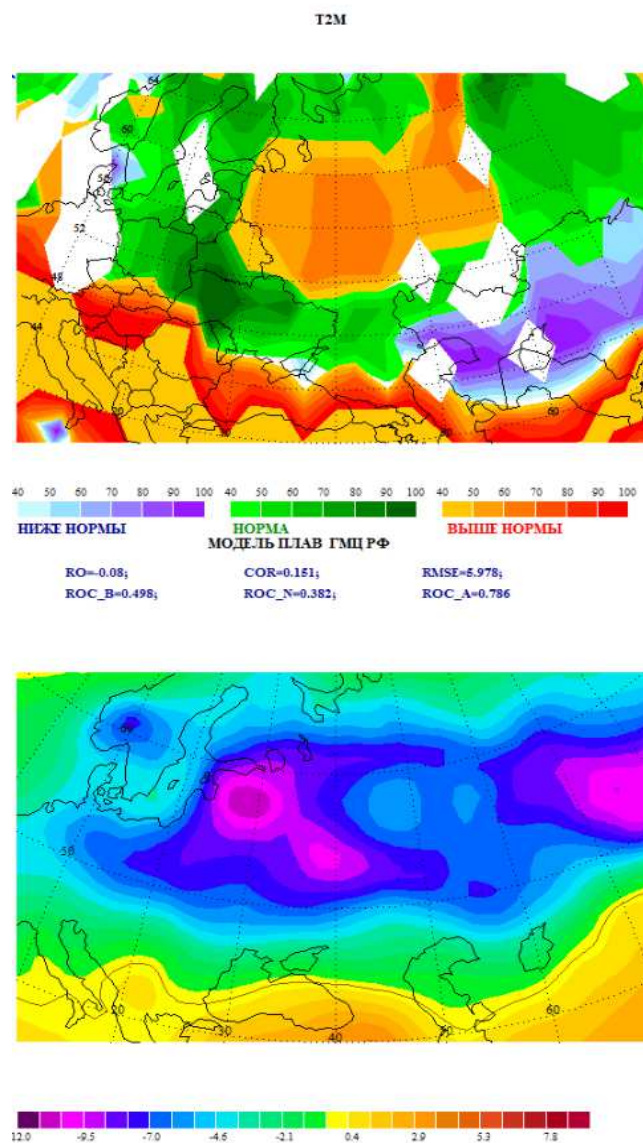


Рисунок 19 - поле среднемесячных аномалий гидрометеорологических параметров за январь 2010 года

3.Анализы результатов проведенного исследования.

3.1.Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по параметру RO за период с 2010-2014 г.

1.Январь RO 2010-2014 (рисунок 3.1А в приложение А). Параметр RO имеет стабильный ход с 2010-2012 г. С 2010 по 2013 год росло качество прогнозов,

определяемое параметром RO. Пик был в 2013г, когда параметр достигал максимального значения за все 5 лет. Минимальное значение параметра достигается в 2010 - (-0,08), а максимальное 2013 г (0,674). В 2014 году данные отсутствуют.

2.Февраль RO 2010-2014 (рисунок 3.1Б в приложение А). За 2010-2014 все значения RO отрицательны. С 2010-2014 год качество прогноза ухудшалось. Минимальное значение параметра достигается в 2012 г(-0,47), а максимальное 2014 г(-0,01).

3.Март RO 2010-2014 (рисунок 3.1В в приложение А).В период с 2010-2011 значения отрицательны, с 2012-2013 RO положительно и качество прогноза растёт, в 2014 RO уменьшается и максимально отрицательно(-0,46). Минимальное значение параметра достигается в 2014 г(-0,46), а максимальное в 2012 г(0,477)

4.Апрель RO 2010-2014 (рисунок 3.1Г в приложение А).RO уменьшалось с 2011-2012,в 2014 имеет значение близкое к 0 (0,006).В 2010,2013 г измерения не проводились. Минимальное значение параметра достигается в 2012 г(-0,47), а максимальное 2014 г(-0,01).

5.Май RO 2010-2014 (рисунок 3.1Д в приложение А).В период с 2010-2011 года Ro стремилось к 0,в 2012 параметр RO достигает максимального значения. В период с 2013-2014 RO уменьшается. Минимальное значение параметра достигается в 2014 г(-0,08), а максимальное 2012 г(0,428).

6.Июнь RO 2010-2014 (рисунок 3.1Е в приложение А). В 2010 году параметр RO имеет минимальное значение (-0,46). В период с 2011-2013 RO растёт и набирает максимум в 2013 году(0,832). С 2011-2013 г качество прогноза росло,определяемо параметром RO. В 2014 году наблюдается уменьшение параметра RO (0,424). Минимальное значение параметра достигается в 2010 г(-0,46), а максимальное 2013 г(0,832).

7.Июль RO 2010-2014 (рисунок 3.1Ж в приложение А). В период с 2010-2013 наблюдается рост параметра RO. С 2010-2013 г качество прогноза растёт. В

2014 году измерения не проводились. Минимальное значение параметра достигается в 2010 г(-0,07), а максимальное 2013 г(0,581).

8.Август RO 2010-2014 (рисунок 3.13 в приложение А). В 2010 году измерения не проводились. В период 2011-2012 года параметр RO падает до минимума (0,377) за измеряемые 5 лет. В период с 2012-2014 наблюдается рост RO.С 2012-2014 качество прогноза растёт. Минимальное значение параметра достигается в 2012 г (0,377), а максимальное 2014 г(0,784).

9.Сентябрь RO 2010-2014 (рисунок 3.1И в приложение А). В 2010 году измерения не проводились. В период с 2011-2012 года наблюдается резкое увеличение параметра RO. В 2012 году наблюдается небольшое падение, в 2014 году RO растёт. Минимальное значение параметра достигается в 2011 г(-0,09), а максимальное 2012 г (0,571).

10.Октябрь RO 2010-2014 (рисунок 3.1К в приложение А). В период с 2010-2014 год наблюдается скачкообразное изменение RO. В 2010-2011 году наблюдается рост RO, в 2012 году уменьшение, которое близко к 0. В 2013-2014 году опять же увеличение в 2013году, которое перерастает в падение в 2014 году. Минимальное значение параметра достигается в 2010 г(-0,19), а максимальное 2011 г(0,498).

11.Ноябрь RO 2010-2014 (рисунок 3.1Л в приложение А). В период в 2010-2011 году параметр RO растёт, в 2012 году параметр RO отрицателен и имеет минимальное значение за все 5 лет. В 2013 году RO имеет максимально значение (0,916), а в 2014 году RO уменьшается. Минимальное значение параметра достигается в 2012 г(-0,13), а максимальное 2013 г(0,916).

12.Декабрь RO 2010-2014 (рисунок 3.1М в приложение А). В 2010,2013 годах RO имеет минимальные значения, в период с 2011-2012 году параметр RO стабильно положительный. В 2011-2012 г качество прогноза стабильно хорошее, определяется параметром RO. В 2014 году RO имеет максимальное значение за 5 лет. Минимальное значение параметра достигается в 2010 г(-0,44), а максимальное 2014 г(0,716).

Описание общего графика для RO.

Анализ графика параметра RO показывает (рисунок 3.6 в приложение А), что качество прогнозов, определяемое сходством между прогностическими и фактическим значениями полей аномалий температуры в изучаемом районе существенно изменялось от месяца к месяцу. Коэффициент линейного тренда графика RO за этот период положительный, что говорит о постепенном росте качества прогнозов за изучаемый период. В период с января 2010 - апрель 2011 года значения RO в основном имеют отрицательные значения. С апреля 2011-январь 2013 года значения RO в основном положительны. С ноября 2013 - февраль 2014 года, RO отрицательно. С февраля 2014 – декабрь 2014 года значения RO положительны. Минимальное значение параметра достигается в 2013 г(-0,65), а максимальное 2013 г(0,91). Параметр RO имеет отрицательные пики в июне 2010, декабре 2010, феврале 2012, феврале 2013, декабре 2013, марте 2014, а положительные пики в июне 2013, ноябре 2013, августе 2014, декабре 2014 . В сезонном ходе, наиболее хорошая оправдываемость прогнозов по параметру RO достигалась в июне, июле, августе, сентябре, декабре, а минимальная оправдываемость наблюдалась в феврале, марте, октябре, ноябре. В январе, июне, июле, августе с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно росло. В феврале с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно падало год от года в изучаемый период времени. В 2011, 2012,2013,2014, годы в большинстве месяцев параметр RO был положительный. В 2010 году в большинстве месяцев параметр RO был отрицателен.

3.2. Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по среднеквадратической ошибке за период с 2010-2014.

1.Январь $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2А в приложение А). Среднеквадратическая ошибка уменьшается с 2010-2013 г, что свидетельствует о росте качества прогноза. В 2010 г среднеквадратическая ошибка достигала своего максимального значения за все 4 измеряемых года. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2013 и составляет (1,373), а максимальное 2010 г (5,978). В 2014 году данные отсутствуют.

2.Февраль $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2Б в приложение А).В период с 2010-2012 год среднеквадратическая ошибка растёт, что указывает об ухудшении качества прогноза. В период с 2012-2014 года среднеквадратическая ошибка уменьшается, соответственно качество прогноза растёт. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2013 г (4,331), а максимальное 2012 г (7,116).

3.Март $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2В в приложение А).В период с 2010-2012 значения среднеквадратической ошибки уменьшаются, качество прогнозируемых параметров растёт. В период с 2012-2014 среднеквадратическая ошибка прогноза растёт, тем самым уменьшая качество прогноза. С 2011-2012 год среднеквадратическая ошибка уменьшалась. В период 2012-2014 год среднеквадратическая ошибка растёт, таким образом, качество прогноза ухудшается. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2012 г (1,674), а максимальное в 2013 г (3,711).

4.Апрель $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2Г в приложение А). Среднеквадратическая ошибка увеличивается с 2011-2012, что указывает об ухудшении качества прогнозируемых параметров. В 2014 году среднеквадратическая ошибка достигает минимума (2,177) за измеряемые три года. В период с 2011-2012 качество прогноза ухудшалось, так как ошибка растёт в этот период времени. В 2010,2013 г измерения не проводились. Минимальное значение среднеквадратической ошибки

достигается в 2012 г (0,219), а максимальное 2011 г (-0,392). Прогнозы среднемесячной температуры по модели отсутствуют за апрель 2010, 2013 год.

5.Май $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2Д в приложение А). В период с 2010-2012 года среднеквадратическая ошибка была стабильна, в 2012 ошибка уменьшается и достигает минимального значения (1,838). В период с 2012-2014 среднеквадратическая ошибка увеличивается, свидетельствуя об ухудшении качества прогноза. С 2010-2012 Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2012 г(-1,838), а максимальное 2014 г (2,758).

6.Июнь $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2Е в приложение А). В 2010 году среднеквадратическая ошибка имеет максимальное значение (3,3), что указывает об ухудшении качества прогноза. В период с 2010-2011 среднеквадратическая ошибка уменьшается, так же с этим растёт качество прогноза. В период с 2011-2013 года наблюдается стабильность среднеквадратической ошибки. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2014 г(1,42), а максимальное 2011 г (3,33).

7.Июль $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2Ж в приложение А). В период с 2010-2011 наблюдается уменьшение среднеквадратической ошибки, вследствие этого качество прогноза растёт. С период 2011-2013 год среднеквадратическая ошибка стабильна, не наблюдается никаких скачков и волнений. С 2010-2011 год росло качество прогноза. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2011 г(1,835), а максимальное 2010 г (3,5). Прогнозы среднемесячной температуры по модели отсутствуют за 2014 год.

8.Август $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2З в приложение А). В 2010 году измерения не проводились. В период 2011-2012 года среднеквадратическая ошибка стабильна. В период с 2012-2013 наблюдается небольшой рост

среднеквадратической ошибки, качество прогноза ухудшается. В 2014 году среднеквадратическая ошибка уменьшается. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2011 г (1,491), а максимальное 2013 г (2,086).

9.Сентябрь $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2И в приложение А). В 2010 году измерения не проводились. В период с 2011-2012 года наблюдается резкое уменьшение среднеквадратической ошибки. В 2012-2013 годах среднеквадратическая ошибка немного увеличивается, в период с 2013-2014 год среднеквадратическая ошибка остаётся стабильной (1.5). В целом качество прогноза улучшалось в период с 2011-2014 года. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2012 г (1,25), а максимальное 2011 г (2,565).

10.Октябрь $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2К в приложение А). В период с 2010-2011 год наблюдается уменьшение среднеквадратической ошибки, тем самым наблюдается рост оценочных параметров и прогноза. В период с 2010-2011 год качество прогноза растёт, с 2011 года происходит плавное увеличение среднеквадратической ошибки и исходя из этого качество прогноза ухудшается. В 2014 году среднеквадратическая ошибка максимальна, что говорит о наихудшем качестве прогноза. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2011 г (1,024), а максимальное 2014 г (2,202).

11.Ноябрь $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2Л в приложение А). В период в 2010-2012 году среднеквадратическая ошибка уменьшается, тем самым увеличивая качество прогноза. В период с 2012-2013 год среднеквадратическая ошибка увеличивается. В 2013-2014 году уменьшается среднеквадратическая ошибка, что говорит об улучшении и росте качества прогноза. Минимальное значение среднеквадратической ошибки достигается в 2012 г (2,191), а максимальное 2010 г (4,028).

12.Декабрь $rmse$ 2010-2014 (рисунок 3.2М в приложение А). В 2010,2013 годах среднеквадратической ошибки имеет максимальные значения. В 2014 году среднеквадратическая ошибка минимальна за 5 исследуемых лет. Качество прогноза растёт к 2014 году. Минимальное значение параметра достигается в 2014 г (1,465), а максимальное 2010 г (5,765).

Описание общего графика среднеквадратической ошибки.

Анализ графика среднеквадратической ошибки показывает (рисунок 3.8 в приложение А), что качество прогнозов, определяемое сходством между прогностическими и фактическим значениями полей аномалий температуры в изучаемом районе существенно изменялось от месяца к месяцу. Коэффициент линейного тренда графика среднеквадратической ошибки за этот период отрицательный, что говорит о постепенном росте качества прогнозов за изучаемый период. Минимальное значение параметра достигается в 2012 г (1,024), а максимальное 2013 г (7,116). График Среднеквадратической ошибки имеет отрицательные пики в октябре 2010, октябре 2011, марте 2012, сентябре 2012, январе 2013, октябре 2013, а положительные пики в феврале 2012, апреле 2012, феврале 2013, феврале 2014. В сезонном ходе, наиболее хорошая оправдываемость прогнозов по среднеквадратической ошибке достигалась в месяцах, где ошибка была минимальна то есть в мае, в августе, в октябре, а минимальная оправдываемость наблюдалась в месяцах где ошибка была большой, то есть в феврале, в ноябре, декабре. В январе, июне, июле с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно росло. В феврале с 2010 года по 2014 год качество непрерывно падало год от года в изучаемый период времени.

3.3. Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по коэффициенту корреляции за период с 2010-2014.

1.Январь COR 2010-2014 (рисунок 3.1А в приложение А). Коэффициент корреляции стабильно растёт с 2010-2013 г. С 2010 по 2013 год росло качество прогнозов, определяемое коэффициент корреляции. В 2010,2012 годах качество прогноза ухудшается. Пик был в 2013 г, когда коэффициент достигал максимального значения за все 4 измеряемых года. Минимальное значение коэффициента COR достигается в 2010 - (0,151), а максимальное 2013 г (0,754). В 2014 году данные отсутствуют.

2.Февраль COR 2010-2014 (рисунок 3.1Б в приложение А). В период с 2010-2012 год коэффициент корреляции уменьшается. В период с 2013-2014 года коэффициент корреляции растёт. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2013 г (-0,13), а максимальное 2010 г (0,184).

3.Март COR 2010-2014 (рисунок 3.1В в приложение А).В период с 2010-2012 значения COR растут, с 2012-2014 коэффициент корреляции экспоненциально уменьшается. С 2011-2013 год качество прогноза безупречно. В 2010,2014 годах качество прогноза ухудшалось. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2010 г(-0,09), а максимальное в 2012 г (0,524).

4.Апрель COR 2010-2014 (рисунок 3.1Г в приложение А). Коэффициент корреляция уменьшался с 2011-2012,в 2014 имеет значение близкое к 0 (0,13). В период с 2011-2012 качество прогноза ухудшалось, но значения оставались положительными, и прогноз остаётся добротным. В 2010,2013 г измерения не проводились. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2012 г (0,219), а максимальное 2011 г (-0,392).

5.Май COR 2010-2014 (рисунок 3.1Д в приложение А). В период с 2010-2011 года коэффициент корреляции уменьшался, в 2012 Коэффициент корреляция достигает максимального значения (0,442). В период с 2012-2014 коэффициент корреляции резко уменьшается, качество прогноза так же уменьшается. С 2010-2012 года качества прогноза растёт, такой рост

обуславливается коэффициент корреляции. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2014 г (-0,53), а максимальное 2012 г (0,442).

6.Июнь COR 2010-2014 (рисунок 3.1Е в приложение А). В 2010 году коэффициент корреляции имеет минимальное значение (-0,62). В период с 2011-2012 коэффициент корреляции растёт, так же с этим растёт качество прогноза. В период с 2011-2013 года наблюдается резкое уменьшение коэффициента корреляции (-0,58). В этот период качество прогноза ухудшается. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2010 г (-0,62), а максимальное 2011 г (0,527).

7.Июль COR 2010-2014 (рисунок 3.1Ж в приложение А). В период с 2010-2011 наблюдается рост коэффициента корреляции. С 2011-2013 года происходит активный спад коэффициента корреляции. С 2010-2011 год росло качество прогноза, с 2012-2013 качество прогноза резко ухудшилось. В 2014 году измерения не проводились. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2013 г (-0,42), а максимальное 2011 г (0,529).

8.Август COR 2010-2014 (рисунок 3.1З в приложение А). В 2010 году измерения не проводились. В период 2011-2012 года коэффициент корреляции стабилен. В период с 2012-2013 наблюдается резкое уменьшение коэффициента COR. В 2014 году коэффициент корреляции растёт. В 2011,2012,2014 качество прогноза растёт, это обуславливается коэффициент корреляции. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2013 г (-0,65), а максимальное 2011 г (0,553).

9.Сентябрь COR 2010-2014 (рисунок 3.1И в приложение А). В 2010 году измерения не проводились. В период с 2011-2012 года наблюдается резкое уменьшение коэффициента COR. В 2012-2013 годах Коэффициент корреляции стремится к 0, в 2014 году Коэффициент корреляции достигает минимального значения за эти 4 измеряемых года. Качество прогноза в целом ухудшалось в период с 2011-2014 года. Минимальное значение

коэффициента корреляции достигается в 2014 г (-0,24), а максимальное 2011 г (0,425).

10.Октябрь COR 2010-2014 (рисунок 3.1К в приложение А). В период с 2010-2011 год наблюдается рост коэффициента корреляции. С период 2011-2014 год наблюдается плавное уменьшение коэффициента корреляции. В период с 2010-2011 год качество прогноза растёт, с 2011 года происходит плавное уменьшения коэффициента корреляции и ухудшение прогноза. Минимальное значение Коэффициент корреляции достигается в 2010 г (-0,08), а максимальное 2011 г (0,461).

11.Ноябрь COR 2010-2014 (рисунок 3.1Л в приложение А). В период в 2010-2012 году коэффициент корреляции растёт, в 2012-2013 году коэффициент корреляции уменьшается, в период 2013-2014 году растёт коэффициент корреляции, достигая максимума за все измеряемые 5 лет. В целом за этот пятилетний период качество прогноза растёт - это обусловлено коэффициентом корреляции. Минимальное значение коэффициента корреляции достигается в 2010 г (0,063), а максимальное 2014 г (0,501).

12.Декабрь COR 2010-2014 (рисунок 3.1М в приложение А). В 2010,2013 годах коэффициент корреляции имеет минимальные значения, в период с 2011-2012 году коэффициент корреляции стабильно положительный. В 2014 году коэффициент корреляции близок к 0. Качество прогноза уменьшается к 2014 году. Минимальное значение параметра достигается в 2013 г (-0,53), а максимальное 2011 г (0,555).

Описание общего графика для коэффициента COR.

Анализ графика коэффициент COR показывает (рисунок 3.7 в приложение А), что качество прогнозов, определяемое сходством между прогностическими и фактическими значениями полей аномалий температуры в изучаемом районе существенно изменялось от месяца к месяцу.

Коэффициент линейного тренда графика коэффициент корреляции за этот период положительный, что говорит о постепенном ухудшении качества прогнозов за изучаемый период. В период с января 2010 – март 2013 года значения коэффициент COR в основном имеют положительные значения, за исключением несколькими отрицательных пиков. С марта 2013-февраль 2014 года значения коэффициент корреляции в основном отрицательны. С февраля 2014 - декабрь 2014 года, значения коэффициента корреляции положительны. Минимальное значение параметра достигается в августе 2013 г (-0,65), а максимальное в январе 2013 г (0,754). Коэффициент корреляции имеет отрицательные пики в июнь 2010, декабрь 2010, июнь 2012, июнь 2013, август 2013, декабрь 2013, май 2014, а положительные пики в август 2012, январь 2013, март 2013, июнь 2014, ноябрь 2014. В сезонном ходе, наиболее хорошая оправдываемость прогнозов по коэффициенту корреляции достигалась в январе, феврале, марте, октябре, ноябре месяце, а минимальная оправдываемость наблюдалась в июне месяце.

В январе, марте, ноябре с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно росло. В мае и июне с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно падало год от года в рассматриваемый период времени.

В 2011, 2012, 2014 годы в большинстве месяцев коэффициент корреляции был положительный. В 2010, 2013 годы в большинстве месяцев коэффициент корреляции был отрицательный.

3.4 Оценка качества прогноза приземной температуры воздуха по показателям ROC за период с 2010-2014.

1. Январь ROC 2010-2013 (рисунок 3.3А в приложение А). В период с 2010-2012 год, все оценки ROC_B, ROC_N и ROC_A не превышали величину 0.5, что свидетельствует об низкой успешности прогноза среднемесячной температуры, качество которого не превышало качество случайных

прогнозов. Только в 2013 году все оценки превышают значение 0,5. В период с 2010-2012 год оценка ROC_V была стабильна низкой и не превышала значение 0,5. В 2013 году оценка ROC_V достигает максимума (0,581). Оценка ROC_N в период с 2010-2013 год растёт и превышает величину 0,5 в 2012 году, достигая своего максимума (0,674). Оценка ROC_A в период с 2010-2014 год уменьшалась и превышала величину 0,5 в 2010 году, где параметр ROC_A достигает своего максимума (0,786). В 2014 измерения не проводились.

Таким образом, своего максимального качества вероятностный прогноз январской отрицательной аномалии температуры достиг в 2013. Январская положительная аномалия температуры лучше всего прогнозировалась в 2010 году. Прогноз градации «около нормы», среднемесячной январской температуры был наилучшим в 2012 году.

2.Февраль ROC 2010-2014 (рисунок 3.3Б в приложение А). В период с 2010-2014 год, все оценки ROC в совокупности не превышали величину 0,5, что свидетельствует о низкой успешности прогноза среднемесячной температуры, качество которого не превышало качество случайных прогнозов. В период с 2010-2012 год оценка ROC_V уменьшалась и была близка к значению 0,5, в 2013 году оценка ROC_V достигает минимума (0,396). В 2014 году ROC_V достигает свой максимум (0,533) и превышает величину 0,5. Оценка ROC_N в период с 2010-2014 год имеет не стабильный ход, при этом не переходит величину 0,5. Оценка ROC_A в период с 2010-2012 год уменьшалась и превышала величину 0,5 в 2010 году, где параметр ROC_A достигает своего максимума (0,565). В период с 2012-2014 оценка ROC_A растёт и превышает значение 0,5 в 2014 году (0,504).

3.Март ROC 2010-2014 (рисунок 3.3В в приложение А). В период с 2010-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2010-

2013 год оценка ROC_V была стабильна и не переходила значение 0,5, в 2013 году ROC_V достигает максимума (0,571). В период с 2013-2014 год ROC_V уменьшается и достигает минимума (0,467) за измеряемый отрезок времени. Оценка ROC_N в период с 2010-2013 год растёт и переходит величину 0,5 в 2013 году, достигая своего максимума (0,577). Оценка ROC_A в период с 2010-2011 год уменьшалась и не превышала величину 0,5, а в последующие года (2012,2013,2014) ROC_A достигает величины 0,5.

4. Апрель ROC 2010-2014 (рисунок 3.3Г в приложение А). В период с 2011-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2011-2012 год оценка ROC_V увеличивается и переходит значение 0,5 в 2012 году, достигая максимума (0,594) за измеряемые три года. В период с 2012-2014 год ROC_V уменьшается и достигает минимума (0,488) за измеряемый отрезок времени. Оценка ROC_N в период с 2011-2012 год уменьшается, достигая своего минимума (0,377). В 2014 году ROC_N переходит через величину 0,5 и достигает своего максимума (0,606). Оценка ROC_A в период с 2011-2012 год уменьшалась, а в 2014 год ROC_A переходит величину 0,5.

5. Май ROC 2010-2014 (рисунок 3.3Д в приложение А). В период с 2010-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2010-2014 год оценка ROC_V увеличивается и достигает значения 0,5 в 2014 году, достигая максимума (0,500) за измеряемый период времени. В период с 2010-2012 год ROC_N увеличивается и переходит величину 0,5 в 2011,2012 году. Оценка ROC_N в период с 2012-2014 год уменьшается, достигая своего минимума (0,442) в 2014 году. Оценка ROC_A в период с 2011-2012 год увеличивалась и переходила значение 0,5. В период с 2013-2014 год ROC_A уменьшается и не превышает величину 0,5.

6.Июнь ROC 2010-2014 (рисунок 3.3Е в приложение А). В период с 2010-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. Только в 2011 году все оценки превышают значение 0,5, что доказывает успешность прогноза над случайным прогнозом. В период с 2010-2011 год оценка ROC_V увеличивается и достигает значения 0,5 в 2011 году, достигая максимума (0,581) за измеряемый период времени. В последующие годы величина ROC_V уменьшается до значения 0,5 и не изменяется. Оценка ROC_N в период с 2010-2011 год увеличивается и переходит значение 0,5. В период с 2011-2013 года ROC_N уменьшается и в 2013 году достигает минимального значения (0,343). В 2014 году градация ROC_N переходит через величину 0,5 и набирает максимум (0,69) за весь пятилетний период измерений. Оценка ROC_A в период с 2010-2011 год увеличивалась и переходила значение 0,5. С 2011 года ROC_A резко снижается, переходя через величину 0,5,падая до 2013 года. В 2014 году ROC_A резко увеличивается и превышает величину 0,5, образуя максимальное значение (0,69) за все измеряемые 5 лет.

7.Июль ROC 2010-2013 (рисунок 3.3Ж в приложение А). В период с 2010-2013 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. Только в 2011 году все оценки превышают значение 0,5, что доказывает успешность прогноза над случайным прогнозом. В период с 2010-2011 год оценка ROC_V уменьшается, но не понижается ниже величины 0,5. В последующие годы величина ROC_V уменьшается до значения 0,5 и не изменяется. Оценка ROC_N в период с 2010-2011 год увеличивается и переходит значение 0,5. В период с 2011-2012 года ROC_N не изменяется. В 2013 ROC_N году достигает минимального значения (0,372). Оценка ROC_A в период с 2010-2012 год увеличивалась, и в данный этап не понижалась ниже 0,5. В 2013 году ROC_A резко снижается, переходя через величину 0,5 и достигает

минимального значения за весь период измерений (0,372). В 2014 году измерения не проводились.

8. Август ROC 2011-2014 (рисунок 3.33 в приложение А). В период с 2011-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2011-2012 год оценка ROC_V уменьшается, но не понижается ниже величины 0,5. В последующие годы величина ROC_V уменьшается до значения 0,5 и не изменяется. Оценка ROC_N в период с 2011-2012 год увеличивается и набирает свой максимум в 2012 году (0,695). В период с 2012-2013 год ROC_N уменьшается и переходит значение 0,5, набирая свой минимум (0,403). В 2014 ROC_N году снова переходит значение 0,5. Оценка ROC_A в период с 2011-2012 год увеличивалась, и в данный промежуток времени не понижалась ниже 0,5. В 2013 году ROC_A резко снижается, переходя через величину 0,5 и достигает минимального значения за весь период измерений (0,356). В 2010 году измерения не проводились.

9. Сентябрь ROC 2011-2014 (рисунок 3.3И в приложение А). В период с 2011-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2011-2014 год оценка ROC_V увеличивается до величины 0,5, но не повышается выше этой величины. Оценка ROC_N в период с 2011-2013 год увеличивается и набирает свой максимум в 2013 году (0,666). В период с 2013-2014 год ROC_N уменьшается и опускается ниже значения 0,5 в 2014 году. Оценка ROC_A в период с 2011-2013 год увеличивалась, и в данный промежуток времени не понижалась ниже 0,5. В 2013 году достигает максимума (0,666). В 2014 году ROC_A резко снижается, переходя через величину 0,5 и достигает минимального значения за весь период измерений (0,426). В 2010 году измерения не проводились.

10.Октябрь ROC 2010-2014 (рисунок 3.3К в приложение А). В период с 2010-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2010-2014 год все значения оценки ROC_V были стабильны и равны 0,5, но не повышались выше этой величины. Оценка ROC_N в период с 2010-2011 год уменьшается, переходя через значения 0,5 и достигает минимума за все измеряемые пять лет (0,485). В период с 2011-2012 год ROC_N увеличивается и переходит значение 0,5 в 2012 году, достигая максимума (0,536). В последующие года ROC_N уменьшается до 0,5 и не опускается ниже этого значения. Оценка ROC_A в период с 2010-2011 год понижалась и достигла минимума в 2011 году. В период с 2011-2012 году достигает максимума (0,537). В последующие года ROC_A падает до величины 0,5 и не изменяется.

11.Ноябрь ROC 2010-2014 (рисунок 3.3Л в приложение А). В период с 2010-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2010-2011 год оценка ROC_V увеличивалась и достигала максимума в 2011 году (0,556). Оценка ROC_V в период с 2011-2012 год уменьшается до величины 0,5. В последующих годах ROC_V не уменьшается ниже величины 0,5. В период с 2010-2011 год ROC_N уменьшается и переходит значение 0,5 в 2012 году, достигая минимума (0,488). В следующий отрезок с 2011-2013 года ROC_N постепенно растёт до 0,5 и больше не уменьшается. В 2014 году ROC_N наблюдается повышение оценки. Оценка ROC_A в период с 2010-2011 год понижалась и достигла минимума в 2011 году. В период с 2011-2012 году ROC_A растёт и переходит значение 0,5. В 2014 году ROC_A резко увеличивается и достигает максимума за пятилетний период измерений (0,570).

12.Декабрь ROC 2010-2014 (рисунок 3.3А в приложение М). В период с 2010-2014 год, все параметры ROC в совокупности не превышали величину 0,5, поэтому это свидетельствует об уменьшении успешности прогноза над случайным прогнозом по каждой отдельно взятой градации. В период с 2010-2011 год оценка ROC_V резко увеличивалась и перешла значение 0,5. В 2011 году Оценка ROC_V имеет максимальное значение за все 12 месяцев пятилетних измерений (0,759). В период с 2011-2012 год оценка ROC_V резко уменьшается до величины 0,5. В последующих годах ROC_V не уменьшается ниже величины 0,5 и остаётся стабильной. В период с 2010-2011 год ROC_N уменьшается и набирает минимум в 2011 году (0,387). В следующий период с 2011-2012 год ROC_N постепенно растёт до 0,5 и стабильно не уменьшается в следующие три года. Оценка ROC_A в период с 2010-2011 год понижалась и достигла минимума в 2011 году (0,406). В период с 2011-2012 году ROC_A растёт и переходит значение 0,5. В последующий три года ROC_A как и ROC_N стабильно не уменьшается.

Описание общего графика оценки ROC_V за весь период измерений.

Анализ общего графика оценки ROC_V показывает (рисунок 3.9 в приложение А), что качество прогнозов, определяемое сходством между прогностическими и фактическим значениями полей аномалий температуры в изучаемом районе существенно изменялось от месяца к месяцу. Коэффициент линейного тренда графика оценки качества прогноза градации температуры «ниже нормы» (ROC_V) за этот период положительный, что свидетельствует о постепенном увеличении его качества. В период с января 2010 – декабрь 2014 года значения оценки ROC_V в основном имеют значения выше (0,5) либо равны (0,5), за исключением нескольких месяцев. Минимальное значение оценки ROC_V достигается в сентябре 2011 г (0,346), а максимальное июле 2010 г (0,844). На всём протяжении данного периода на

графике оценки ROC_V наблюдаются чётко выраженные минимумы в июне 2010, сентябре 2011 и феврале 2010 и положительные пики в июле 2010, августе 2011, декабре 2011, апреле 2012. В сезонном ходе, наиболее высокая оправдываемость прогнозов по оценке ROC_V достигалась в марте, октябре, ноябре, а минимальная в мае. В январе и мае, с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно росло. В июле, с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно падало год от года. В большинстве календарных месяцев оценка ROC_V не превышала величину 0,5.

Описание общего графика оценки ROC_N за весь период измерений.

Анализ общего графика оценки ROC_N показывает, что качество прогнозов, определяемое сходством между прогностическими и фактическим значениями полей аномалий температуры в изучаемом районе существенно изменялось от месяца к месяцу. Коэффициент линейного тренда графика оценки ROC_N за этот период положительный, что говорит о постепенном росте качества прогнозов за изучаемый период. По сравнению с предыдущим анализом, график ROC_N имеет резкие падения и подъёмы значений. В период с января 2010 – декабрь 2010 года значения оценки ROC_N в основном имеют значения ниже 0,5, кроме октября и ноября, где ROC_N переходит значение 0,5. Затем, январь 2011 года начинается с резкого уменьшения ROC_N и уменьшения ниже величины 0,5, но после первой четверти 2011 года ROC_N растёт, переходя через значение 0,5 и остаётся высоким до последней четверти 2011 года, где оценка ROC_N опять опускается ниже величины 0,5, образуя два минимальных пика. В 2012 году значения ROC_N в основном выше 0,5, за исключением нескольких месяцев, а именно апреля и июня. В 2012 году ROC_N достигает своего максимального значения за весь период изучения (0,695). В 2013 году значения ROC_N в первой половине года в основном значительно ниже

значения 0,5, так же в этом году оценка ROC_N имеет минимальное значение за весь период измерений по градации (0,343). В конце 2013 года все значения ROC_N в основном выше значения 0,5. В начале, 2014 года значения ROC_N ниже 0,5, но к середине года ситуация резко меняется и значения данной градации достигают и переходят 0,5. Минимальное значение оценки ROC_N достигается в сентябре 2013 г (0,343), а максимальное июле 2010 г (0,695). На всём протяжении данного исследования оценка ROC_N не имеет отрицательных значений, но есть чётко выраженные минимальные пики в июне 2010, марте 2011, декабре 2011, апреле 2012, июне 2013, а положительные пики в октябре 2010, апреле 2011, августе 2011, январе 2012, августе 2012, сентябре 2013, июне 2014. В сезонном ходе, наиболее хорошая оправдываемость прогнозов по оценке ROC_N достигалась в августе, в ноябре, а минимальная оправдываемость наблюдалась в феврале, мае, июне, месяце. В январе с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно росло. В феврале с 2010 года по 2014 год качество непрерывно падало год от года в рассматриваемый период времени. В большинстве календарных месяцев оценка ROC_N не превышала величину 0,5.

Описание общего графика оценки ROC_A за весь период измерений.

Анализ общего графика оценки ROC_A показывает (рисунок 3.9 в приложение А), что качество прогнозов, определяемое сходством между прогностическими и фактическим значениями полей аномалий температуры в изучаемом районе существенно изменялось от месяца к месяцу. Коэффициент линейного тренда графика оценки ROC_A за этот период отрицательный, что говорит о постепенном ухудшении качества прогнозов за изучаемый период. По сравнению с предыдущим анализом, большинство значений графика ROC_A имеет сходство с графиком ROC_A. В период с

января 2010 – декабрь 2010 года значения оценки ROC_A в основном имеют значения выше (0,5) кроме середины 2010 года с марта по июнь, где наблюдается минимальный пик (0,314) за исследуемый период времени. Январь 2011 года начинается с резкого уменьшения ROC_A и уменьшения ниже величины 0,5, но после первой четверти 2011 года ROC_A растёт, переходя через значение 0,5 и остаётся высоким до последней четверти 2011 года, где оценка ROC_A опять опускается ниже величины (0,5). В 2012 году значения ROC_A в основном выше (0,5) за исключением нескольких месяцев, а именно января, февраля и июня. В 2013 году значения ROC_N в первой половине года в основном стабильны и не опускаются ниже значения (0,5). В конце 2013 года все значения ROC_A в основном выше значения 0,5. В начале, 2014 года значения ROC_A стабильны и равны примерно значению (0,5) но к середине года ситуация резко меняется. Минимальное значение оценки ROC_A достигается в июне 2010 г (0,314), а максимальное в январе 2010 г (0,786). На всём протяжении данного исследования оценка ROC_A не имеет отрицательных значений, но есть чётко выраженные минимальные пики в июне 2010, марте 2011, декабре 2011, феврале 2012, июне 2012, июне 2013 а положительные пики в январе 2010, июне 2011, августе 2012, сентябре 2013, июне 2014. В сезонном ходе, наиболее хорошая оправдываемость прогнозов по оценке ROC_A достигалась в сентябре, а минимальная оправдываемость наблюдалась в феврале. В декабре с 2010 года по 2014 год качество прогнозов непрерывно росло. В июле с 2010 года по 2014 год качество непрерывно падало год от года в рассматриваемый период времени. В большинстве календарных месяцев оценка ROC_A не превышала величину 0,5.

3.5. Сравнение графиков параметра RO и коэффициента корреляции.

1. RO и COR январь 2010-2014. Сравнивая данные параметры, можно сделать несколько выводов и заметить некоторые сходства и различия в распределении оценок. С 2010-2013 год ход параметров сильно отличается друг от друга, за исключением 2013 года, когда параметр RO и коэффициент COR синхронны. Прогнозы среднемесячной температуры по модели отсутствуют за январь 2014 года.

2. RO и COR февраль 2010-2014. В период с 2010-2013 год параметр RO и коэффициент корреляции убывает. Все значения параметра RO в феврале отрицательны. В 2014 году наблюдается рост параметра RO и коэффициента корреляции. Ход оценок качества прогнозов за этот период примерно совпадает, хотя имеет небольшие различия. Равенство между значениями параметра RO и коэффициента корреляции не наблюдается.

3. RO и COR март 2010-2014. В течение всего периода ход параметров схожий, за исключением 2011 года, где наблюдается сильное различие в их динамике. В период с 2012-2013 год параметры изменяются синхронно.

4. RO и COR апрель 2010-2014. Как видим, данный месяц получился очень неопределенным, из исследованных 5 лет, прогнозы среднемесячной температуры по модели отсутствуют за 2010, 2013 года. В период с 2011-2012 год RO и коэффициент корреляции заметно различаются. Ход переменных за этот период примерно совпадает, хотя имеет небольшие расхождения, а сходимость между значениями параметра RO и коэффициента корреляции наблюдаются в 2014 году.

5. RO и COR май 2010-2014. В период с 2011-2013 год RO и коэффициент корреляции похожи. Ход параметров за этот период довольно схожий, а совпадение между значениями параметра RO и коэффициента корреляции наблюдаются в 2012 году. В период с 2013-2014 года ход параметра RO и коэффициента корреляции меняется противоположно, если сравнивать его с предыдущим отрезком времени.

6.RO и COR июнь 2010-2014. В наблюдаемом месяце RO и коэффициент корреляции похожи и имеют схожесть в 2010 году (оба отрицательны), 2011 (оба положительны), 2014 (оба положительны). Ход оценочных параметров в этих годах совпадает, за исключением нескольких отклонений в 2011 году. В 2012, 2013 году наблюдается полное расхождение между параметром RO (+) и коэффициентом корреляции (-).

7.RO и COR июль 2010-2014. В рассматриваемом месяце RO и коэффициент корреляции схожи и имеют одинаковый ход с 2010-2011 год. В 2012, 2013 году наблюдается резкое увеличение параметра RO (+), а коэффициент корреляции, наоборот падает.

8.RO и COR август 2010-2014. В августе параметр RO и коэффициент корреляции похожи и примерно имеют одинаковый ход в период с 2011-2012 год. В 2013 году наблюдается резкое увеличение параметра RO (+), а коэффициент корреляции, наоборот падает. В целом с 2013-2014 год ход этих параметров сильно отличается друг от друга.

9.RO и COR сентябрь 2010-2014. В период с 2011-2014 год параметр RO в основном положителен, а коэффициент корреляции отрицателен или близок к 0, что говорит разной степени оправдываемости. Ход параметров за этот период сильно различается, а равенство между значениями параметра RO и коэффициента корреляции не наблюдается.

10.RO и COR октябрь 2010-2014. В октябре с 2010-2014 год параметр RO и коэффициент корреляции различны друг от друга, и сходятся в 2011 году, где имеют примерно одинаковые значения. Ход параметров за этот период сильно различается, а равенство между значениями параметра RO и коэффициента корреляции не наблюдается.

11.RO и COR ноябрь 2010-2014. В данном месяце с 2010-2014 год параметр RO и коэффициент корреляции различны друг от друга, и сходимость не наблюдается. Ход параметров за этот период сильно различается, а равенство

между значениями параметра RO и коэффициента корреляции не наблюдается.

12.RO и COR ноябрь 2010-2014. В данном месяце с 2010-2014 год параметр RO и коэффициент корреляции имеют примерно одинаковые значения, кроме 2014 года. Ход параметров за этот период схожий, и наблюдается равенство между значениями параметра RO и коэффициента корреляции.

Выводы.

В результате проведенного исследования был проанализирован архив прогностических полей модели ПЛАВ за период с 2010 по 2014 годы.

Прогностические поля были представлены в вероятностном виде при помощи модернизации процедуры визуализации в программе «Africa».

В процессе исследования были получены рекомендованные ВМО оценки качества прогноза аномалий приземной температуры воздуха как для детерминистических прогнозов, представляющие среднее прогностическое поле по ансамблю, так и для вероятностных прогнозов знака аномалии температуры воздуха по трем градациям. В результате исследования было построено 21 следующих графиков для каждого параметра качества.

- 1) Графики сезонного хода оценок качества,
- 2) Графики среднегодового хода оценок качества,
- 3) Графики оценок качества для всех прогнозов, имеющих в архиве.

За весь рассматриваемый период с 2010 по 2014 год качество прогнозов оцениваемое по сходству географического распределения полей аномалий температуры воздуха одного знака (параметр RO) росло (PИС..), а качество прогнозов по параметру характеризующему геометрическое совпадение полей аномалий и их интенсивности (параметр корреляции) незначительно падало (PИС..). Одновременно на этом ряду наблюдался отрицательный тренд среднеквадратической ошибки прогнозов (PИС..).

За этот же период наблюдался рост выше значения 0,5 значения параметра качества ROC для вероятностного прогноза градации аномалий температуры в пределах нормы.

Не изменялась оценка качества ROC для положительной градации температуры, колеблясь незначительно выше значения 0,5.

Слабо снижалось от 0,53 до 0,5 значение оценки ROC для прогноза отрицательной градации аномалии температуры (РИС ...).

Таким образом, хотя наблюдался рост качества детерминистического прогноза аномалий температуры, этот рост проходил в основном за счет роста успешности прогноза аномалий, находящихся в пределах нормы.

Если рассматривать средние за год оценки качества прогноза, то можно отметить, что среднеквадратическая ошибка прогноза падала от 2010 к 2014 году (РИС...). Качество прогнозов, оцениваемое параметром RO, непрерывно росло, а вот геометрическое сходство прогностических и фактически наблюдаемых полей аномалий оцениваемое коэффициентом корреляции достигало максимума в 2011, затем упало в 2013 году и снова незначительно выросло в 2014 году (РИС...). Эти тенденции наблюдались несмотря на внесенные в модель ПЛАВ изменения и увеличение размеров прогностического ансамбля с 10 до 20 членов,

Анализ изменения оценки качества вероятностного прогноза аномалии температуры по градациям дает нам более детальную информацию изменений успешности. На протяжении 5 лет росла успешность прогноза градации положительной аномалии температуры и падала успешность вероятностного прогноза отрицательной аномалии температуры. При этом существенно, с 0.43 до 0.54, выросла успешность прогноза градации норма. Видимо рост параметра RO произошел именно за счет роста качества прогнозов аномалии температуры близких по своей величине к норме (РИС ...).

Таким образом, анализ успешности вероятностного прогноза позволяет сделать вывод о том, что модель ПЛАВ стала лучше предсказывать именно градации температуры около нормы, но при этом ухудшился прогноз отрицательных аномалий.

Анализ календарного хода оценок качества прогнозов позволяет утверждать, что модель ПЛАВ лучше прогнозирует географическое распределение поле знака аномалии температуры в теплый период года, что вытекает из высоких значений параметра RO с мая сентябрь (PIS ...), а геометрическое подобие полей и интенсивность очагов аномалий описываемое параметром корреляции лучше прогнозируется в холодный период года (PIS,,). При этом среднеквадратические ошибки прогнозов минимальны с мая по октябрь.

Анализ параметра ROC (PIS...) показывает, что градации аномалии температуры ниже нормы и норма лучше всего прогнозируются в теплый период года, а градации выше нормы лучше прогнозируются в осенний период.

Таким образом, общий вывод который можно сделать по результатам исследования состоит в том, что:

- 1) В теплый период года хорошо прогнозируются отрицательные аномалии температуры воздуха и аномалии близкие к норме с минимальными среднеквадратическими ошибками прогноза.
- 2) Осенью лучше прогнозируются положительные аномалии температуры воздуха.
- 3) За 5 исследуемых лет модель ПЛАВ стала лучше прогнозировать положительные и близкие к норме аномалии температуры воздуха. При этом качество прогнозов аномалий температуры близкой к норме непрерывно возрастало, а отрицательных аномалий падало.
- 4) Общее качество детерминистического прогнозаросло, а среднеквадратическая ошибка падала.
- 5) Использование вероятностного прогноза температуры на месяц дает возможность более уверенно прогнозировать аномалии температуры выше нормы осенью и ниже нормы в теплый период года, тогда как детерминистический прогноз уверенно прогнозирует поле температуры

близкое к норме. Таким образом, возможность прогноза аномалий температуры отличных от нормы придает вероятностному прогнозу температуры большую экономическую полезность для потребителей.

Список литературы.

1. Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию. Всемирная метеорологическая организация. [Текст]: Дос. ВМО-№ 1091- 2012. - М.: Издание, 2012. - 24 с.
2. Наставление по глобальной системе обработки данных и прогнозирования, 2005: ТОМ I. (Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО). Глобальные аспекты. Издание 1992 г. ВМО-№ 485. Добавление II.8. Стандартная система проверки оправдываемости (ССПО) долгосрочных прогнозов (ДП). Секретариат Всемирной Метеорологической Организации — Женева — Швейцария. 173 с.
3. РД 52.27.284-91 Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов .- Л.: Гидрометеоиздат, 1991.- 150 с.
4. Kalnay et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-470, 1996.
5. Толстых М.А., Д.Б. Киктев, Р.Б. Зарипов, М.Ю. Зайченко, В.В. Шашкин, Воспроизведение сезонной атмосферной циркуляции модифицированной полулагранжевой модели атмосферы, Изв. РАН, сер. ФАиО, 2010, Т.46, N2. Стр. 149-160.
6. Киктев Д.Е., Толстых М.А., Зарипов Р.Б., Зайченко М.Ю., Муравьев А.В., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Мирвис В.М., Мелешко В.П., Матгин В.А., Львова Т.Ю., 2011: Совместные испытания технологий глобального сезонного прогноза на основе моделей Гидрометцентра России и ГГО.

Информационный сборник №38. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под редакцией к.г.н. Г.К.Веселовой, Москва, Обнинск, ИГ – СОЦИН, с.4-13.

7. Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В, Юрова А.Ю.. Полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ. — М.: Гидрометцентр России, Институт вычислительной математики РАН, 2010. — 216 с.
8. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмое А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. -Л.:Гидрометеоиздат,1985.
- 9.Бауман И.А., Кондратович КВ., Савичев А.И. Практикум по долгосрочным прогнозам погоды. -Л.:Гидрометеоиздат,1979.
- 10.Астахова Е.Д. Алферов Ю.В. Опыт использования параллельных алгоритмов в спектральной модели среднесрочного прогноза погоды Гидрометцентра России.2007.Т.8.С. 138-146.
11. Руководство по работе с программой долгосрочного прогноза погоды,2012.С.2-10,163,178-179.
- 12.Астахова Е.Д., Алфёров Ю.В. Организация задачи численного среднесрочного прогноза погоды на многопроцессорных системах.,2006 г.,Изд-во Моск. Университета, с. 78-79
13. Астахова Е.Д. Построение ансамблей начальных полей для системы кратко- и среднесрочного ансамблевого прогнозирования погоды.,2008 г.,Гидрометеоиздат. С.98-117.