



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Оценка успешности прогнозов погоды на основе матричной системы»

Исполнитель Федорова Ольга Павловна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дробжева Яна Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«22» июня 2023г.

Санкт-Петербург
2023

ВВЕДЕНИЕ

Мурманская область является тем краем, где начинается Россия, северными воротами нашей страны. Важное геополитическое положение, возможность круглогодичной навигации с прямыми выходами на международные морские торговые пути в сочетании с уникальной по составу и запасам минерально-сырьевой базой обусловили формирование на территории области крупного индустриального центра.

Преимущества Кольского залива и конкурентоспособность Мурманского транспортного узла, порта — это факторы, создающие уникальные в России условия для строительства портов и формирования конкурентоспособных транспортных схем для экспорта массовых сырьевых грузов с использованием крупнотоннажных судов грузоподъемностью до 300 тыс. тонн.

Уникальными факторами являются свободная, незастроенная и неосвоенная территория. Глубоководная, незамерзающая и защищенная от волнения акватория, свободный выход в открытый океан с относительно небольшой интенсивностью судоходства, близость транспортного узла к европейскому и американскому рынкам, возможность использования международных транспортных коридоров (Северный морской путь, Транссиб и Север — Юг), надежная связь Кольского полуострова по магистралям железнодорожного и автомобильного транспорта.

На Кольском полуострове первые регулярные метеорологические наблюдения начались в 1843 г. на маяке Терско-Орловский.

В настоящее время наблюдательная сеть Мурманского УГМС состоит из 25 гидрометеорологических станций (из них 9 труднодоступных), 53-х гидрологических постов и 17 метеорологических постов.

Актуальность. Морской порт «Мурманск» является началом стратегической морской транспортной артерии – Северный морской путь, обеспечивающий доступ к природным ресурсам Сибири, Крайнего Севера, Дальнего Востока, а так же развитие транзита из Атлантики в Тихий океан.

Наибольший практический интерес представляют оценка климатических рисков, и разработка соответствующих мер адаптации к последствиям изменения климата в таких областях как: добывающая промышленность, морской транспорт, энергетика, рыболовство, сельское и лесное хозяйство, туризм.

Цель работы: оценить успешность прогнозов скорости ветра и экономическую полезность для порта г. Мурманск.

Для достижения поставленных целей необходимо решить **задачи:**

1. Сформировать базу данных скорости ветра в порту г. Мурманск за период с 2011 – 2015 г.;
2. Построить матрицы сопряженности;
3. Рассчитать критерии успешности прогнозов скорости ветра;

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Мурманская область расположена на северо-западе европейской части России, на Кольском полуострове и практически вся территория находится за полярным кругом. С севера она омывается водами Баренцева моря, а на востоке и юго-востоке Белым морем. На юге Мурманская область граничит с республикой Карелией, на западе граничит с Финляндией и Норвегией. Мурманская область простирается с севера на юг на 400 км, а с запада на восток приблизительно на 580 км.



В южной части Мурманской области климат умеренный, холодный, в северной – морской субарктический, однако он смягчен Северо-Атлантическим течением (продолжением Гольфстрима). Именно благодаря этому в регионе есть незамерзающие порты (самые северные в мире).

Для лета характерен полярный день – с 22 мая по 22 июля солнце никогда не заходит за горизонт, для зимы – полярная ночь, в это время солнце не появляется из-за горизонта (с 1 декабря по 10 января). Подобные явления часто вызывают чувство дискомфорта у гостей региона (впрочем и у части жителей).

Самые холодные месяцы – январь и февраль, самые теплые – июнь и июль. Зимой в центральных районах температура может опускаться до -55 (такие максимумы фиксировались), летом поднимается до +33 (также

максимум). Однако из-за большой влажности воздуха и сильных ветров даже небольшие морозы в Мурманской области могут переноситься очень тяжело. Стоит отметить, что заморозки нередко бывают даже летом, в июне бывают и снегопады. Снег выпадает обычно уже в середине октября и лежит до конца мая. Большинство водоемов замерзает в ноябре, вскрывается ото льда в мае. Некоторые озера могут освобождаться ото льда в июне.

1.1 Основные метеорологические параметры и факторы, характеризующие климат Мурманской области

1.1.1 Атмосферное давление

Распределение среднего сезонного атмосферного давления Мурманской области носит муссонный характер. Самое высокое давление для зимнего времени года характерно для южной части Мурманской области, давление постепенно опускается в направлении на север и северо-запад, самое минимальное давление над полуостровом Рыбачий.

Годовой ход атмосферного давления для станций Мурманской области одинаков и аналогичен для других районов, расположенных вблизи Баренцева моря. Он имеет резко выраженный максимум в мае и минимумы в ноябре и январе. Значительное повышение давления в мае связано с увеличением повторяемости антициклонов. [15]

Летом, давление понижается, т.к. интенсивность антициклонов летом над сушей гораздо меньше, чем зимой. Это связано с увеличением повторяемости и интенсивности циклонических процессов над северной частью Атлантического океана, Баренцевым морем и северными районами Европейского материка.

В зависимости от преобладания циклонических или антициклонических барических образований, максимальные и минимальные значения атмосферного давления характерны для зимы. Из-за увеличения средней скорости циклонов и антициклонов зимой и уменьшением ее в летнее время, а также с аналогичным изменением их интенсивности в течение года, межсуточная изменчивость атмосферного давления достигает максимальных значений зимой и минимальной летом.

1.1.2 Ветер в Мурманской области

Так же, как и давление, ветер в Мурманской области носит муссонный характер. Муссонный режим ветра зимой выражен преобладающими южными и юго-западными ветрами, а летом ветер имеет северо-западное направление.

Самая высокая повторяемость муссонных ветров наблюдается на мурманском побережье и в Кольском заливе. Повторяемость муссонных ветров зимой до 38- 47%, а в летнее время 23-26%.

В достаточно небольшой зоне мурманского побережья и вдоль Кольского залива в зимнее и летнее время наблюдаются наибольшие сезонные градиенты температуры, зимой они направлены в сторону суши, а летом - от берега. Термическая составляющая ветра направлена в противоположную сторону градиента температуры.

В центральных районах Кольского полуострова, удаленных от побережья, сезонные термические составляющие ветра исчезают, так как контрасты температуры здесь сглаживаются или отсутствуют. В центре, Средняя скорость ветра и постоянность его направления больше зависят от местных условий рельефа, а не от барического градиента.

В узких долинах горной местности, ветер направлен вдоль долины или ущелья. В подобных районах бывает до двух преобладающих ветров. К примеру, у Хибин высокая повторяемость юго-восточных и северо-западных ветров, это связано не с муссонным режимом, а с рельефом местности с вершинами до 1300 метров.

У Белого моря режим также имеет муссонный характер. Тут в зимнее и летнее время, барические градиенты, обусловлены сезонным перераспределением атмосферного давления, и термическое, связанные с контрастами температур суши и моря, направлены в одну сторону. Поэтому на побережье Белого моря термическая и барическая составляющие ветра противоположны по направлению, и это обстоятельство обуславливает уменьшение средней скорости ветра и устойчивости его преобладающего направления.

Во всех районах Мурманской области есть суточный ход скорости ветра. Максимальные значения наблюдаются в полуденные часы, а минимумы в вечерние или ночные сроки. Суточный ход скорости ветра зависит от суточного хода радиационного баланса и температуры воздуха. Скорость ветра увеличивается днем, в самое теплое время, а ночью во время выхолаживания, идет на спад. Поэтому суточный ход скорости ветра хорошо выражен при антициклонической и малооблачной погоде, а при циклонической, пасмурной или облачной погоде становится менее выраженным.

1.1.3 Температура воздуха

Температура важнейшая метеорологическая характеристика, которая является ключевой в изучении температурного режима. Температура зависит от нескольких факторов. В первую очередь географическое расположение, почти вся территория Мурманской области находится за полярным кругом, отсюда следует, что в общем и целом температуры невысокие, соответственно лето редко бывает жарким, но при этом зима не самая холодная, температуры редко опускаются до очень низких температур, это связано с адвекцией воздушных масс с моря, оно является большим источником тепла. За счет тепла, приходящего с моря, средняя температура воздуха на Кольском полуострове в зимний сезон значительно превышает среднюю температуру на широтах Кольского полуострова. Вследствие этого, средняя температура воздуха за год во всех район области, по большей мере в районах у северного побережья, оказывается аномально высокой для данных широт. Весной влияние моря на температурный режим снижается, а контрасты температуры на обоих побережьях становятся менее выраженными.

Восточная часть Кольского полуострова значительно холоднее, чем западная, разница температур связана с наличием льдов в Белом море. Летом наиболее высокая средняя сезонная температура наблюдается в более удаленных районах от Баренцева и востока Белого морей. Осенью Баренцево и Белое моря оказывают примерно такое же влияние, как и весной. На терском и

на мурманском побережьях и на побережье озера Имандра, осенью температура выше, по сравнению с другими районами. При движении от центра полуострова в сторону морей, температура понижается.

Отепляющее влияние Баренцева моря и, в частности теплых вод Нордкапского течения, наиболее резко сказывается зимой [15]. Под влиянием притока тепла с Баренцева моря и выхолаживания над сушей в северо-западных районах Мурманской области формируется очень высокий контраст температуры [15].

Мурманская область находится на границе между обширным материком на юге, и обширной акваторией Баренцева моря на севере. За счет адвекции воздушных масс с теплой суши, несмотря на относительную невысокую повторяемость таких ситуаций в теплую часть года, средняя температура лета в Мурманской области немного выше средней широтной [15].

Наиболее высокая среднегодовая температура наблюдается в западных районах мурманского побережья и на побережье Кандалакшского залива. По направлению к востоку - на мурманском и терском побережьях - средняя годовая температура постепенно понижается, достигая на побережье воронки и горла Белого моря - $1,6^{\circ}$ - $1,8^{\circ}$ [15].

Также одним из факторов влияющим на температуру является рельеф местности. В самых высокогорных районах мурманской области наблюдаются самые низкие среднегодовые температуры. Распределение абсолютных максимумов температуры на Кольском полуострове в любом из месяцев более или менее однородно. Это объясняется тем, что абсолютные максимумы температуры вызываются адвекцией наиболее теплых масс воздуха и наблюдаются при больших скоростях ветра. В этом случае влияние местных условий на распределение максимальной температуры сглаживается. Однако лето, в начале осени и в конце весны, когда самые высокие температуры вызываются адвекцией теплого воздуха с материка, т.е. ветрами южных или юго-западных направлений, на востоке терского побережья максимальные температуры ниже, чем в других районах Кольского полуострова. Понижение

абсолютных максимумов здесь вызвано охлаждением теплого континентального воздуха над поверхностью более холодной воды Белого моря. [15]. В центральных и низменных районах Кольского полуострова самые минимальные температуры наблюдаются в декабре, январе и феврале, а самые высокие максимальные температуры - в июне и в июле, т. е. в периоды крайних значений среднемесячного радиационного баланса. [15].

1.1.4 Атмосферные явления

Туман. Туманом называется скопление мелких, не различимых глазом капель воды, взвешенных в воздухе, при котором горизонтальная видимость ухудшается до одного и менее километра. В районе Мурманска в течение года наблюдается следующие типы туманов:

Адвективные туманы наблюдаются в теплой части года. Эти туманы образуются над поверхностью Баренцева моря в теплых массах воздуха, поступающих из северных районов Атлантики или с материка и выхолаживающих этот воздух над поверхностью более холодной воды. Образовавшийся над морем туман выносится ветрами северных направлений на побережье и в Кольский залив. На пути к Мурманску этот туман обычно приподнимается днем, переходя в низкую слоистую облачность, закрывающую вершины сопек. И только в ночные часы он иногда достигает Мурманска как приземный туман.

Радиационные туманы возможны в любое время года при радиационном выхолаживании в ясные тихие ночи нижнего слоя достаточно влажного воздуха. Наименее вероятны радиационные туманы во время полярного дня и наиболее вероятны осенью, когда устанавливаются продолжительные ночи и еще сохраняется достаточно высокая абсолютная влажность воздуха за счет испарения с почвы.

Туманы испарения образуются над поверхностью относительно теплой воды, в данном случае над Кольским заливом при притоке с материка холодного воздуха с температурой до -8 , -10° и ниже. Основной причиной

образования этого тумана является большая разность насыщающих упругостей водяного пара по отношению к температуре поверхности воды и фактически имеющейся в притекающем холодном воздухе, или в конечном счете достаточно высокая разность температур поверхности воды и воздуха над водой. Такие условия складываются в Кольском заливе с октября по апрель включительно при значительных похолоданиях. В этот период и образуются туманы испарения, которые наиболее вероятны в середине зимы, с декабря по февраль включительно. При интенсивном развитии тумана испарения во время сильного мороза он временами распространяется за берег, закрывая узкую прибрежную зону, район торгового и рыбного портов, судоверфи и железнодорожного узла.

Наибольшее число дней с туманом и его продолжительность наблюдаются в декабре во время полярной ночи, а наименьшее — в июне во время полярного дня. Средняя продолжительность тумана за день колеблется от двух часов в июне до восьми в декабре. Вероятность образования тумана и его продолжительность зависят и от времени суток.

Метели. В Мурманске возможны три вида метелей: общая, низовая и поземок. Общая метель наблюдается при снегопаде и усилении ветра, который поднимает снег с поверхности земли. Общая метель при сильном ветре и обильном снегопаде может значительно ухудшать видимость. При низовой метели снег не выпадает, но поднимается ветром с поверхности земли. При большой скорости ветра низовая метель может ухудшать видимость. Поземок наблюдается при более слабом ветре, который переносит снег вдоль земной поверхности, не ухудшая видимости. Метель возможна в любом из месяцев, кроме июля и августа, а поземок — только в период с октября по май включительно и наблюдается значительно реже, чем метель. Наиболее вероятен при метели ветер южного и юго-восточного направлений (60%), которые преобладают в холодный период года. При ветрах с Баренцева моря (северо-западного, северного и северо-восточного направлений) вероятность метели достигает 40% от общего числа случаев. Большая вероятность метелей

при ветрах с Баренцева моря объясняется выпадением обильных снегопадов зарядами при этих направлениях ветра. При метелях наиболее вероятны скорости ветра от 10 до 17 м/сек. (64%), маловероятны (3%) и возможны при снегопаде или при наличии рыхлого свежевывавшего снега слабые ветры <5 м/сек.

Гололед. Гололед представляет собой слой прозрачного, реже матового льда, осаждающегося на различных предметах, не защищенных от выпадающего морозящего или крупнокапельного дождя при слабом морозе. Гололед в 87% случаев образуется при выпадении дождя, мороси или мокрого снега с дождем, в 75% — при слабом морозе и в 83% — при южном ветре. Когда отложения гололеда достигают максимальной толщины и веса, скорость ветра в 37% случаев не превышает 5 м/сек., в 42% случаев при наибольшей толщине и весе отложений гололеда может превышать 9 м/сек. и очень редко, только в 4% случаев, может достигать 14—15 м/сек

Изморозь. Отложения изморози в зависимости от условий погоды могут иметь зернистую или кристаллическую структуру.

Изморозь дает более мощные отложения, чем гололед. Так, например, средняя величина большого диаметра отложений зернистой изморози достигает 14 мм, а наибольшая — 84 мм. Средняя величина большого диаметра отложений кристаллической изморози достигает 71 мм, а наибольшая — 160 мм.

В момент максимальных отложений изморози скорость ветра меньше, чем в аналогичных условиях гололеда, так как изморозь обычно разрушается ветром. В 72% случаев при максимальных отложениях изморози наблюдается слабый ветер, менее 6 м/сек., и только в 3% случаев возможен более сильный ветер, скоростью более 10 м/сек.

2. АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТРИЦ СОПРЯЖЕННОСТИ

Экономическая полезность метеорологической информации зависит от нескольких факторов, в том числе и от ее качества.

В настоящее время существует две системы оценки успешности прогнозов:

- административная;
- матричная.

Административная система основывается на требованиях, изложенных в наставлении «Руководство по краткосрочным метеорологическим прогнозам».

Система оценки успешности – это набор правил и численных мер оценки, удовлетворяющий решение целевой задачи.

Показателем качества для административной системы является критерий «общеоправданности прогнозов».

Изменение успешности прогнозов, оцениваемое по критерию общеоправданности, показывает прирост на 10% за счет внедрения карт барической топографии, еще на 10% за счет развития гидродинамических прогнозов, еще на 5% за счет совершенствования используемых методик и внедрения спутниковой информации, еще на 6% за счет внедрения и совершенствования численных методов прогнозирования и 6% за счет улучшения вычислительной техники. Оправдываемость краткосрочных прогнозов на сегодняшний день составляет 96-98%. [13]

Критерий общеоправданности не является надежным критерием оценки качества, поскольку не учитывает цену ошибок страховок и ошибок пропусков.

Административная система оценки успешности не удовлетворяет представления о качестве прогнозов для потребителя.

2.1. Матричная система оценки успешности

Матричная система – более объективный подход к оценке успешности.

Матричная система оценки качества основывается на представлении прогностической и фактической информации о погоде в виде матрицы сопряженности.

Критерий успешности определяет степень адекватности прогноза и фактической погоды и используется в совокупности, поскольку каждый критерий характеризует отдельную сторону качества прогнозирования.

Матрица сопряженности выстраивается с учетом требований потребителя к уровню дискретности и к пороговым значениям градации.

В матричной системе число случаев учитывается без допуска к интервалам при фактической реализации погоды.

Матрица сопряженности составляется за период 5-10 лет, поскольку меняются методики прогнозирования, меняются климатические параметры. Матрица сопряженности должна отвечать требованиям к выборке.

На основании оценки критерия успешности выявляют зоны с достаточно низкой успешностью методических прогнозов – зоны повышенной сложности прогнозирования.

В матричной системе предусматривается следующий алгоритм оценки:

1. Успешность прогнозов явлений погоды выполняется по принципу простой альтернативы, что является основанием для подготовки исходного материала на базе прогнозов погоды за каждый день в пункте или на территории за теплую или иную часть года.

2. Разрабатывается матрица сопряженности альтернативных прогнозов, содержащая два прогностических условия ($m=2$) : «явление ожидается, прогнозируется» (Π) или «не ожидается, не прогнозируется» ($\bar{\Pi}$) - и два условия исхода ($n=2$), что затем фактически наблюдалось: «явление было» (Φ) или «не было» $\bar{\Phi}$. Таким образом подготавливается матрица сопряженности второго порядка.

3. Численная оценка успешности альтернативных прогнозов выполняется на основании распределения частот n_{ij} реализации прогнозов ($\Pi_j \sim \Phi_j$) из совокупности представительного статистического объема данных N , приведенных в матрице сопряженности.

4. Рассчитываются критерии успешности, обеспечивающие достаточно полное представление о качестве прогнозов данного вида– успешность прогнозирования.

5. Успешность прогнозов метеорологических величин выполняется на основании разработки матрицы сопряженности размером $m \times n$. Практически число градаций устанавливает потребитель, согласно регламенту принимаемых решений d , или оно определяется исходя из задач совершенствования метода прогноза.

6. Матричное описание результатов прогнозирования в виде частот n_{ij} позволяет перевести их в вероятностную форму. Апостериорные совместные (p) и условные (q) вероятности при оценке результатов экономических решений потребителя.

2.2 Построение матриц сопряженности альтернативных прогнозов

В современной отечественной и зарубежной синоптической практике метеорологические прогнозы обобщаются в виде матриц сопряженности. Общий вид матрицы сопряженности альтернативных прогнозов записывается следующим образом (табл. 2.1)

Таблица 2.1

Общий вид матрицы сопряженности

Фактически наблюдалось, Φ_i	Прогнозировалось, Π_j		$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
	Π – наличие явления, неблагоприятного условия погоды	$\bar{\Pi}$ – отсутствие явления, неблагоприятного условия погоды	
Φ – Явление наблюдалось	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\bar{\Phi}$ – явление не наблюдалось	n_{21}	n_{22}	n_{20}
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	n_{01}	n_{02}	N

Частоты n_{11} и n_{22} относятся к оправдавшимся прогнозам наличия и отсутствия явления, а n_{12} и n_{21} – к неоправдавшимся, ошибочным прогнозам. При этом n_{12} – число прогнозов – пропусков явления, а n_{21} – число прогнозов – перестраховок.

Для построения матриц сопряженности альтернативного прогноза используются уже имеющиеся тексты прогнозов и фактически наблюдавшиеся условия погоды. Каждому прогнозу будет соответствовать одно из четырех возможных сочетаний $\Pi_j \sim \Phi_j$:

1. Явление прогнозировалось Π и наблюдалось Φ , т.е. $\Pi \sim \Phi$ – это случай фиксируется в ячейке « n_{11} »;

2. Явление прогнозировалось Π , но не наблюдалось $\bar{\Phi}$, т.е. $\Pi \sim \bar{\Phi}$ – в ячейке « n_{21} »;

3. Явление не прогнозировалось $\bar{\Pi}$, но фактически наблюдалось Φ , т.е. $\bar{\Pi} \sim \Phi$ – в ячейке « n_{12} »;

4. Явление не прогнозировалось $\bar{\Pi}$ и не наблюдалось $\bar{\Phi}$, т.е. $\bar{\Pi} \sim \bar{\Phi}$ – в ячейке « n_{22} ».

В итоге в каждой ячейке подсчитывается общее число зафиксированных сопряжений, что и дает соответствующее число случаев или соответствующую повторяемость сочетаний $\Pi_j \sim \Phi_j$: n_{11} , n_{21} , n_{12} и n_{22} .

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

n_{01} — число случаев прогнозов наличия явления — число прогнозов с текстом Π ;

n_{02} — число случаев прогнозов отсутствия явления — число прогнозов с текстом $\bar{\Pi}$;

n_{10} — число случаев наличия явления — столько раз явление фактически наблюдалось Φ ;

n_{20} — число случаев отсутствия явления — столько раз явление фактически не наблюдалось $\bar{\Phi}$;

N — общее число прогнозов.

2.3 Построение матриц сопряженности методических прогнозов

Матрица сопряженности методических прогнозов разрабатывается по следующей схеме:

1. За выбранный период времени устанавливается общее число прогнозов N и число случаев, когда явление фактически наблюдалось Φ , то есть n_{10} .

2. Устанавливается число случаев отсутствия явления $\bar{\Phi}$, то есть n_{20} .

3. По прогностическим материалам находится число случаев, когда явление прогнозировалось Π , то есть n_{01} .

4. Определяется число случаев, когда явление не прогнозировалось: $n_{02} = N - n_{01}$.

5. Остается установить частоты n_{ij} матрицы сопряженности n_{11} , n_{12} , n_{21} , n_{22} .

6. Остальные частоты определяются как разность значения: $n_{12} = n_{10} - n_{11}$; $n_{21} = n_{01} - n_{11}$; $n_{22} = n_{02} - n_{12}$.

Согласно приведенной алгоритмической схеме, разработка матриц сопряженности легко программируется, что позволяет создать уникальную базу данных об успешности прогнозов.

2.4 Построение матрицы сопряженности инерционного прогноза

Оценка успешности и экономической полезности прогнозов требует знания матрицы сопряженности стандартных прогнозов — главным образом, инерционных. Разработка матриц сопряженности инерционного прогноза выполняется только по фактическим (ежедневным) сведениям о погоде, а значит — о явлениях погоды и метеорологических величинах.

Скорость ветра как метеорологическая величина обладает свойством инерционности. Следовательно, по имеющимся данным необходимо построить таблицу сопряженности инерционного прогноза, в целях дальнейшего сопоставления оценки с методическим прогнозом.

Для построения матрицы сопряженности инерционных прогнозов для альтернативных условий предлагается простая вычислительная схема.

1. Фактически наблюдавшиеся частоты наличия (Φ) или отсутствия ($\bar{\Phi}$) явления, т.е. соответственно n_{10} и n_{20} остаются те же, что и в матрице сопряженности методических прогнозов.

2. Инерционные прогнозы обладают свойством несмещенности, что всегда прослеживается в матрице сопряженности этого вида прогнозов. Иначе, $n_{01} = n_{10}$ и $n_{02} = n_{20}$. Кроме того, $n_{12} = n_{21}$.

3. Далее необходимо определить элементы матрицы сопряженности: n_{11} , n_{21} , n_{12} , n_{22} . Здесь достаточно рассчитать только частоту n_{12} — число ошибок-пропусков. Остальные частоты определяются способом разностей: $n_{11} = n_{10} - n_{12}$, $n_{22} = n_{20} - n_{21}$.

2.5 Построение матрицы сопряженности случайного прогноза

Матрица сопряженности случайного прогноза является следствием статистического механизма такого прогнозирования. Представляется случайный выбор из совокупности величин, одинаково распределенных с предиктантом.

Случайный прогноз отражает случайный характер связи между признаками Π и Φ . Независимость этих признаков означает, что значение признака Π не дает никакой информации о признаке Φ . Независимость признаков Π и Φ формируется следующим образом:

1. Доля элементов

1. Доля элементов с признаком Φ среди элементов, обладающих Π , то есть $\frac{n_{11}}{n_{11} + n_{21}}$, должно быть равно доле элементов с признаком Φ

среди элементов, не обладающих признаком Π (иначе $\bar{\Pi}$), то есть $\frac{n_{12}}{n_{12} + n_{22}}$

$$\frac{n_{11}}{n_{11} + n_{21}} = \frac{n_{12}}{n_{12} + n_{22}} = \frac{n_{11} + n_{12}}{N} \quad (2.1)$$

2. Доля элементов с признаком $\bar{\Phi}$ среди элементов, обладающих признаком П, то есть $\frac{n_{21}}{n_{11} + n_{21}}$ должна быть равна доле элементов с признаком $\bar{\Phi}$ среди элементов не обладающих признаком П (иначе \bar{P}), то есть $\frac{n_{22}}{n_{12} + n_{22}}$; отсюда получаем

$$\frac{n_{21}}{n_{11} + n_{21}} = \frac{n_{22}}{n_{12} + n_{22}} = \frac{n_{21} + n_{22}}{N} \quad (2.2)$$

Если в качестве исходного признака рассматривать П и \bar{P} и находить их доли соответственно среди элементов Φ и $\bar{\Phi}$, то можно записать

$$\frac{n_{11}}{n_{11} + n_{12}} = \frac{n_{21}}{n_{21} + n_{22}} = \frac{n_{11} + n_{21}}{N} \quad (2.3)$$

$$\frac{n_{12}}{n_{11} + n_{12}} = \frac{n_{22}}{n_{21} + n_{22}} = \frac{n_{12} + n_{22}}{N} \quad (2.4)$$

На основании соотношений (2.1-2.4) устанавливается случайность сопряженности признаков П и Φ_i . Так, из формулы (2.1) или (2.3) следует

$$n_{11}^{сл} = \frac{(n_{11} + n_{21})(n_{11} + n_{12})}{N} = \frac{n_{01}n_{10}}{N} \quad (2.5)$$

На основании формулы (2.1) или (2.4) получаем

$$n_{12}^{сл} = \frac{(n_{12} + n_{22})(n_{11} + n_{12})}{N} = \frac{n_{02}n_{10}}{N} \quad (2.6)$$

Из других соотношений находим:

$$n_{21}^{сл} = \frac{(n_{11} + n_{21})(n_{21} + n_{22})}{N} = \frac{n_{01}n_{20}}{N} \quad (2.7)$$

$$n_{22}^{сл} = \frac{(n_{12} + n_{22})(n_{21} + n_{22})}{N} = \frac{n_{02}n_{20}}{N} \quad (2.8)$$

На основании (n_{ij}) частоты матрицы сопряженности методического прогноза определяются частоты $n_{ij}^{сл}$ при случайном выборе текста прогноза.

2.6 Оценка успешности альтернативных прогнозов

Успешность прогнозирования погоды есть степень соответствия значений метеорологических величин или явлений погоды, которые содержатся в тексте прогноза и которые затем фактически наблюдались. Устанавливается степень схождения прогнозируемых P_i и фактических F_i значений метеорологической величины или явления погоды. Степень схождения должна быть измерена, то есть должна получить численное выражение. Если измерено соответствие, схождение прогноза факту, то очевидным становится и различие.

В качестве мер успешности прогнозов используются критерии, разработанные отечественными и зарубежными учеными. Критерии успешности позволяют дать количественную оценку схождения прогноза факту и тем самым установить метеорологическую результативность прогнозирования.

Для того чтобы установить существует ли связь между исследуемыми признаками P и F , или же они являются независимыми друг от друга (случайными), используется критерий независимости Пирсона. Этот критерий позволяет дать оценку статистической значимости выводов, получаемых по выборочным таблицам сопряженности:

$$c^2 = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ij}^{cl})^2}{n_{ij}^{cl}} \quad (2.9)$$

Элементы матрицы сопряженности методического прогноза n_{ij} сравниваются с элементами матрицы сопряженности случайного прогноза n_{ij}^{cl} , которые характеризуют независимость случайных величин, принятых в качестве нулевой гипотезы.

Для определения теоретического (табличного) значения χ^2 (Приложение 2) рассчитывается число степеней свободы ν в таблице сопряженности. Число степеней свободы этого распределения определяется как разность между числом событий и числом связей, налагаемых моделью.

$$n = (k_1 - 1)(k_2 - 1) \quad (2.10)$$

где k_1 – число строк, k_2 – число столбцов.

Уровень значимости α может быть задан в пределах (от 0.001 до 0.05). Данное число будет указывать на вероятность ошибки в существовании связи между признаками. Так, при $\alpha = 0.05$ в 5 % случаев возможна независимость признаков – подтверждение нулевой гипотезы H_0 .

Для проверки нулевой гипотезы используется правило:

если $\chi^2 > \chi^2_{\alpha, u}$, то гипотеза о независимости признаков П и Ф, отклоняется – между признаками существует взаимозависимость;

если $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha, u}$, то гипотеза о независимости не отклоняется – связь между признаками носит случайный характер, признается случайной.

Критерий независимости Пирсона χ^2 позволяет лишь установить наличие или отсутствие связи между признаками П и Ф, однако не измеряет эту связь, т.е. не является мерой связи.

Для определения успешности прогноза воспользуемся рядом известных критериев.

1. Критерий «общая оправдываемость» характеризует отношение оправдавшихся прогнозов к общему числу прогнозов погоды и выражена в процентах. Формула общей оправдываемости имеет вид:

$$P_{\text{общ}} = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \times 100\% \quad (2.11)$$

где n_{11} и n_{22} – число случаев оправдавшихся прогнозов при сочетании П~Ф и $\bar{П} \sim \bar{Ф}$.

Данный критерий не учитывает ошибку «пропуска» и ошибку «ложной тревоги». Иными словами необходимо ввести критерий точности и надежности.[5]

2. Критерий надежности прогнозов по Н.А. Багрову имеет вид:

$$H = \frac{P_{\text{общ}} - P_{\text{сл}}}{100 - P_{\text{сл}}} \quad (2.12)$$

где $P_{\text{сл}}$ – общая оправдываемость случайных прогнозов, рассчитывается по формуле:

$$p_{сл} = \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \quad (2.13)$$

Критерий H характеризует относительное приращение общей оправдываемости оцениваемых прогнозов к максимально возможному. Здесь разность $p - p_{сл}$ нормирована относительно отклонения идеального прогноза от случайного на интервале (0;1).

3. Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову. Критерий рассчитывается по формуле:

$$Q = 1 - \frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \quad (2.14)$$

где $\frac{n_{12}}{n_{10}}$ и $\frac{n_{21}}{n_{20}}$ — относительные ошибки прогнозов.

Показатель Q выражает долю точных, успешных прогнозов при известной повторяемости фаз явлений. Он меняется в пределах от 0 (прогнозы на уровне случайных) до 1 (прогнозы на уровне идеальных). Если прогнозы ошибочны $Q = -1$. Критерий отражает успех прогнозирования относительно идеальных прогнозов. [14]

Другим показательным критерием является количество прогностической информации. Он устанавливается на основании ряда положений статистической теории информации. В качестве меры неопределенности осуществления фаз состояния погоды используется статистическая энтропия. Климатическая энтропия $H(\Phi)$, или безусловная энтропия характеризует меру неопределенности осуществления фаз состояния погоды с их известной климатической вероятностью

$$H(\Phi) = - \sum_{i=1}^n p(\Phi_i) \lg p(\Phi_i) \quad (2.15)$$

Где $p(\Phi_i) = n_{i0}/N$, а N — число фаз состояния погоды.
или (для альтернативного прогноза)

$$H(\Phi) = - \frac{n_{10}}{N} \lg \frac{n_{10}}{N} + \frac{n_{20}}{N} \lg \frac{n_{20}}{N} \quad (2.16)$$

Задача методического прогноза заключается в том, чтобы уменьшить энтропию явления по сравнению с климатической, т.е. повысить определенность знаний о возможной реализации той или иной фазы явления. Тогда условная энтропия (энтропия по прогнозу) будет иметь следующий вид:

$$H(\Pi) = - \sum_{j=1}^m p(\Pi_j) H(\Pi_j / \Phi_i) \quad (2.17)$$

где $p(\Pi_j) = n_{0j}/N$ – вероятность осуществления прогноза данной фазы; $H(\Pi_j / \Phi_i)$ – частная энтропия.

Используя частоты n_{ij} осуществления сопряженности $\Pi_j \sim \Phi_i$ формулу 2.20 можно записать в следующем виде:

$$H(\Pi) = - \frac{n_{01}}{N} \left[\frac{n_{11}}{n_{01}} \lg \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \lg \frac{n_{21}}{n_{01}} \right] + \frac{n_{02}}{N} \left[\frac{n_{12}}{n_{02}} \lg \frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \lg \frac{n_{22}}{n_{02}} \right] \quad (2.18)$$

Количество прогностической информации I есть разность энтропий

$$I = H(\Phi) - H(\Pi) \quad (2.19)$$

В силу различий климатической повторяемости явлений (или состояний) погоды критерий I не может быть надежной мерой сравнения качества прогнозирования. Поэтому используется более универсальный критерий информационное отношение v

$$v = \frac{H(\Phi) - H(\Pi)}{H(\Phi)} = 1 - \frac{H(\Pi)}{H(\Phi)} \quad (2.20)$$

Оно может быть представлено в долях единицы или процентах.

Меры Гутмана. Эти показатели основаны на том, что если рассматриваемые переменные зависимы, то информация о том, какое значение принял первый из них, должна улучшать точность предсказания значения второго признака.

Коэффициент Гутмана λ_b вычисляется по формуле:

$$I(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{i0 \max}}{N - n_{i0 \max}} \quad (2.21)$$

Где $n_{i \max}$ – это максимальное значение частоты строки i ;

$n_{i0 \max}$ – это максимальный элемент итоговой строки.

Коэффициент $\lambda(\Phi/\Pi)$ ассиметричный показатель, т.к. изучает зависимость Y от X . Статистика основана на сравнении двух ситуаций. Для случайно взятого наблюдения угадывается его Y -категория, если нет никакой дополнительной информации о его категории в X и если известен его класс в категории X .

Если известна категория признака X , то необходимо выбирать максимальное число в этой строке. Если признаки взаимосвязаны, то значение категории X позволяет достигать лучшего предсказания.

Коэффициент λ оценивает снижение вероятности ошибки предсказания признака Y , при известной информации о принадлежности наблюдения к классу признака X по сравнению с ситуацией, когда такой информации нет.

Коэффициент Гутмана $\lambda(\Pi/\Phi)$ эквивалентен коэффициенту λ_b , с учетом перемены строк и столбцов между собой. Он является ассиметричным коэффициентом и определяет степень зависимости X от Y и вычисляется по формуле

$$I(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{j=1}^m n_{\max j} - n_{\max 0}}{N - n_{\max 0}} \quad (2.22)$$

Где $n_{\max j}$ – это максимальное значение частоты столбца j ;

n_{\max} – это максимальный элемент итогового столбца.

Коэффициент λ измеряет улучшение средней величины относительного изменения вероятности ошибки предсказания категории признака, располагающегося по столбцам таблицы, при изменении категории располагающегося по строкам.

Если при анализе матриц сопряженности не имеет значение последовательность расположения классов по признакам, то есть неважно,

зависит. Хотя и наоборот, то используется коэффициент λ . Этот коэффициент находит усредненную величину прогноза между изучаемыми переменными.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{0 j \max} + \sum_{j=1}^m n_{j \max} - n_{i 0 \max}}{2N - n_{i 0 \max} - n_{0 j \max}} \quad (2.23)$$

Коэффициент λ определяется как результат объединения λ_b и λ_a :

$$\min(\lambda_a, \lambda_b) \leq \lambda \leq \max(\lambda_a, \lambda_b) \quad (2.24)$$

При построении коэффициентов Гутмана возникают трудности, связанные с неравномерным расположением условных сумм (обращение коэффициентов λ в ноль). Меры Гутмана имеют тот недостаток, что они принимают нулевое значение, если все максимальны клеточные частоты оказываются в одном и том же столбце или в одной и той же строке матрицы. В том случае λ_b и λ_a равны нулю, но это не может означать независимость исследуемых переменных.

3. ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ПРОГНОЗОВ СКОРОСТИ ВЕТРА И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ ДЛЯ ПОРТА Г. МУРМАНСКА

3.1 Данные скорости ветра для порта г. Мурманск

Составлена база данных по скорости ветра в порту г. Мурманск за период с 2011 г. по 2015 г. за месяцы январь-март и октябрь-декабрь. За анализируемый период было обработано 911 суточных значений скорости ветра.

Прогностические и экспериментальные данные скорости ветра за январь-март и октябрь-декабрь 2011 год представлены в таблице 3.1. За остальные годы, данные о скорости ветра представлены в Приложении 1. В качестве критического значения скорости ветра принята скорость равная 15 м/с и более.

Таблица 3.1

Сводная таблица результатов суточных прогнозов скорости ветра (м/с) по г. Мурманск за период 2011г. Январь-март и октябрь-декабрь

Месяц	январь		февраль		март		октябрь		ноябрь		декабрь	
Дата	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф
1	9	11	10	7	17	17	15	22	11	10	20	21
2	10	10	9	8	20	18	11	13	17	16	17	20
3	7	7	7	8	27	23	9	10	10	12	14	16
4	7	12	9	6	20	24	9	10	17	5	14	14
5	8	13	10	14	20	18	4	7	17	16	8	12
6	12	10	8	9	18	14	17	7	18	16	9	11
7	10	8	13	13	18	17	20	16	18	13	9	11
8	9	9	11	12	18	16	16	21	16	16	10	11
9	12	9	14	7	22	23	16	14	12	14	11	11
10	11	5	11	9	15	18	14	18	13	9	11	9
11	11	10	11	13	11	14	16	12	15	9	12	9
12	9	13	8	9	15	11	15	9	15	10	13	9



13	5	6	14	9	8	11	14	16	22	17	17	12	↑
14	6	7	10	8	10	10	14	13	30	21	14	16	↓
15	18	11	5	8	15	15	14	13	17	28	15	14	
16	20	21	9	5	18	17	14	13	17	13	13	10	
17	11	21	5	9	18	18	11	9	11	11	11	12	
18	10	14	9	9	16	17	19	9	16	10	10	5	
19	8	10	14	11	15	15	20	20	16	14	9	6	
20	17	9	13	11	17	17	14	18	15	19	10	9	
21	17	13	15	14	20	16	14	14	13	16	10	10	
22	14	16	17	23	23	28	10	11	14	12	17	9	
23	8	13	17	16	15	19	13	9	17	15	18	21	↓
24	10	11	24	14	17	18	15	12	18	18	18	19	
25	13	14	24	24	20	23	13	14	17	14	18	16	
26	18	13	18	21	14	16	8	9	18	16	17	16	
27	17	18	20	17	10	16	10	9	17	14	16	14	↑
28	12	22	17	17	10	11	11	9	15	11	15	17	↓
29	15	10			15	9	12	9	18	13	12	17	
30	14	15			9	10	15	11	20	20	16	9	
31	13	13			14	13	14	10			10	12	
n ₀₁ =84, n ₀₂ =98, n ₁₀ =45, n ₂₀ =137, N=182													

В последней строчке таблицы 3.1 приведено число случаев:

n₀₁ — число случаев прогнозов наличия явления (или состояния погоды) — число прогнозов с текстом Π ;

n₀₂ — число случаев прогнозов отсутствия явления (или состояния погоды) — число прогнозов с текстом $\bar{\Pi}$;

n₁₀ — число случаев наличия явления (или состояния погоды) - столько раз явление фактически наблюдалось Φ ;

n_{20} — число случаев отсутствия явления (или состояния погоды) — столько раз явление фактически не наблюдалось $\bar{\Phi}$;

N — общее число прогнозов за год.

Прогнозы погоды различают:

1. По охвату территории:

- по пункту – ожидаемая погода в конкретном пункте в пределах района обслуживания;
- по району – ожидаемая погода во всем районе в виде прогнозов по отдельным его частям;
- по маршруту – ожидаемая погода по пути следования транспортного средства на известном стандартном или заданном участке.

2. В зависимости от периода действия прогноз погоды определяют следующим образом:

- сверхкраткосрочный прогноз – от десятков минут до нескольких часов;
- краткосрочный прогноз – от полусуток до 48 часов;
- среднесрочный прогноз – на 3-10 суток;
- долгосрочный прогноз – от месяца до двух лет;
- сверхдолгосрочный – на срок свыше двух лет.

В зависимости от интенсивности, производственной и социальной опасности ожидаемого гидрометеорологического явления экстренно разрабатывают штормовое предупреждение. Это могут быть: очень сильный ветер, в том числе шквалы, смерчи, очень сильные осадки, крупный град, сильная метель, сильная песчаная (пыльная) буря, очень сильные гололедные отложения, очень сильный продолжительный туман, сильное загрязнение атмосферы (смог) и другие.

По назначению метеорологические прогнозы разделяют на два вида основных вида: *общие прогнозы погоды*, или *прогнозы общего назначения*, передаваемые населению по радио, телевидению, помещаемые в газетах, и

специализированные прогнозы, которые разрабатываются в прогностических подразделениях Гидрометслужбы и предназначены для использования в отдельных отраслях народного хозяйства.

К специальным прогнозам предъявляют следующие *требования*:

1. Прогнозы должны передаваться потребителю с достаточной для него заблаговременностью. Заблаговременность прогноза – это промежуток времени от момента передачи прогноза потребителю до начала осуществления прогнозируемого явления. Потребители постоянно требуют увеличения заблаговременности, так как в этом они видят практическую полезность прогнозов. Однако с увеличением заблаговременности уменьшается успешность прогнозов.

2. Прогноз должен иметь устойчиво высокую успешность, то есть высокую степень соответствия прогнозируемой погоды фактической. Успешность определяется по достаточно большому числу прогнозов.

3. Выдаваемый потребителю текст(содержание)прогноза должен обладать таким свойством, при котором прогнозист не имеет возможности заранее оказывать влияние на успешность прогноза. От этого недостатка свободны прогнозы, сформулированные в вероятностной форме.

4. Потребителю необходимы такие утверждения в осуществлении погоды, которые позволяли бы наиболее оптимально их использовать в математико-экономических моделях. Для этого необходимо использовать вероятностные формы прогнозов. Внастоящее время в оперативной практике службы погоды еще используют категорические формы прогнозов.

По степени точности прогнозы разделяются: методические и неметодические.

Методические прогнозы. В синоптической практике все оперативные прогнозы, основанные на применении некоторых физически обоснованных методов (синоптического, гидродинамического, физико-статистического), являются методическими. По формулировке степени утверждения

достоверности ожидаемой погоды методические прогнозы разделяются на два вида: категорические и вероятностные.

Стандартные прогнозы. Для их разработки не требуется аналитической или расчетной работы. К ним относятся случайные, инерционные и климатологические прогнозы. Их используют для сравнительной оценки методических прогнозов. Если апробируемый метод дает успешность на уровне случайного или инерционного прогноза, его использовать в оперативной работе нет смысла.

Случайный прогноз составляется без использования определенной методики. Случайно выбирается какая-либо градация метеовеличины или явление. Прогноз составляется наугад, вслепую.

Инерционные прогнозы – это прогнозы, в которых в качестве прогнозируемого состояния используется исходное, то есть в определенной мере используется свойство инерции атмосферных процессов. Достаточно удачно это прием работает при устойчивых антициклонах при прогнозе на ближайшее время. При увеличении времени прогноза, при циклонических процессах ошибка инерционного прогноза приближается к ошибке случайного.

Климатические прогнозы – прогнозы, содержащие климатическую информацию в виде средних многолетних значений метеовеличин, такая информация содержится в справочниках.

По характеру прогнозы разделяют на категорические и вероятностные.

Категорические прогнозы содержат утверждение о полной достоверности ожидаемой погоды. Официальные прогнозы в нашей стране составляются в категорической форме: в виде числа, интервала чисел, в виде качественной характеристики (сильный, умеренный) или альтернативы (наличия или отсутствия явления).

Вероятностные прогнозы содержат указания о вероятностях осуществления ожидаемых явлениях погоды или метеорологических величин. Например: «вероятность грозы в Москве составляет 85%».

На основании статистически обеспеченного ряда категорических прогнозов и данных фактических наблюдений строится матрица сопряженности условий прогноз - факт и полученные частоты сопряжения выражаются в вероятностной форме. Такой вероятностный прогноз широко используется в решении многих метеоролого-экономических задач.

3.2 Расчет оценки успешности прогнозов скорости ветра в морском порту г. Мурманска

В расчетной части были составлены матрицы сопряженности методического, инерционного и случайного прогнозов скорости ветра в мурманском порту.

Матрица сопряженности методического прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011 г.

	П	\bar{P}	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\overset{\circ}{a}}} n_j$
Ф	32	13	45
$\bar{\Phi}$	52	85	137
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\overset{\circ}{a}}} n_i$	84	98	182

Матрица сопряженности инерционного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011 г.

	П	\bar{P}	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\overset{\circ}{a}}} n_j$
Ф	22	23	45
$\bar{\Phi}$	23	114	137
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\overset{\circ}{a}}} n_i$	45	137	182

Матрица сопряженности случайного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011 г.

	П	\bar{P}	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\overset{\circ}{a}}} n_j$
Ф	21	24	45
$\bar{\Phi}$	63	74	137
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\overset{\circ}{a}}} n_i$	84	98	182

Матрица сопряженности методического прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2012 г.

	П	\bar{P}	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\overset{\circ}{a}}} n_j$
Ф	20	7	27
$\bar{\Phi}$	49	107	156

Матрица сопряженности инерционного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2012 г.

	П	\bar{P}	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\overset{\circ}{a}}} n_j$
Ф	5	22	27
$\bar{\Phi}$	22	134	156

Матрица сопряженности случайного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2012 г.

	П	\bar{P}	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\overset{\circ}{a}}} n_j$
Ф	10	17	27
$\bar{\Phi}$	59	97	156

$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	69	114	183
---	----	-----	-----

Матрица сопряженности методического прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2013 г.

	П	$\bar{П}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Ф	25	11	36
$\bar{Ф}$	52	94	146
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	77	105	182

Матрица сопряженности методического прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2014 г.

	П	$\bar{П}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Ф	13	12	25
$\bar{Ф}$	47	110	27
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	60	122	182

Матрица сопряженности методического прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2015 г.

$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	27	156	183
---	----	-----	-----

Матрица сопряженности инерционного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2013 г.

	П	$\bar{П}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Ф	12	24	36
$\bar{Ф}$	24	122	146
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	36	146	182

Матрица сопряженности инерционного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2014 г.

	П	$\bar{П}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Ф	3	22	25
$\bar{Ф}$	22	135	157
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	25	157	182

Матрица сопряженности инерционного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2015 г.

$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	69	114	183
---	----	-----	-----

Матрица сопряженности случайного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2013 г.

	П	$\bar{П}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Ф	15	21	36
$\bar{Ф}$	62	84	146
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	77	105	182

Матрица сопряженности случайного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2014 г.

	П	$\bar{П}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Ф	8	17	25
$\bar{Ф}$	52	105	157
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	60	122	182

Матрица сопряженности случайного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2015 г.

	Π	$\bar{\Pi}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$		Π	$\bar{\Pi}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$		Π	$\bar{\Pi}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Φ	22	22	44	Φ	17	27	44	Φ	23	21	44
$\bar{\Phi}$	73	65	138	$\bar{\Phi}$	27	111	138	$\bar{\Phi}$	72	66	138
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	95	87	182	$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	44	138	182	$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	95	87	182

Далее в работе для удобства проведения расчетов все эти матрицы были объединены и стали иметь следующий вид:

Матрица сопряженности методического прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011-2015 г.

	Π	$\bar{\Pi}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Φ	112	65	177
$\bar{\Phi}$	273	461	734
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	385	526	911

Матрица сопряженности инерционного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011-2015 г.

	Π	$\bar{\Pi}$	$\overset{m=2}{\underset{j=1}{\mathring{a}}} n_j$
Φ	112	65	177
$\bar{\Phi}$	273	461	734
$\overset{n=2}{\underset{i=1}{\mathring{a}}} n_i$	385	526	911

Матрица сопряженности случайного прогноза скорости ветра за период январь-март, октябрь-декабрь 2011-2015 г.

	П	$\bar{П}$	$\sum_{j=1}^{m=2} n_j$
Ф	77	100	177
$\bar{Ф}$	308	426	734
$\sum_{i=1}^{n=2} n_i$	385	526	911

Рассчитаем оправдываемость U и предупреденность $П$ наличия или отсутствия скорости ветра для матриц методического прогноза.

	Оправдываемость У прогноза факта <i>наличия</i> скорости ветра	Оправдываемость У прогноза факта <i>отсутствия</i> скорости ветра
2011	$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{32}{45} \times 100 = 71\%$	$U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{85}{137} \times 100 = 62\%$
2012	$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{20}{27} \times 100 = 74\%$	$U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{107}{156} \times 100 = 69\%$
2013	$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{25}{36} \times 100 = 69\%$	$U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{94}{146} \times 100 = 64\%$
2014	$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{13}{25} \times 100 = 52\%$	$U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{110}{157} \times 100 = 70\%$
2015	$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{22}{44} \times 100 = 50\%$	$U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{65}{138} \times 100 = 47\%$
	$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{112}{177} \times 100 = 63\%$	$U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{461}{734} \times 100 = 62\%$

	Предупреденность факта <i>наличия</i> скорости ветра	Предупреденность факта <i>отсутствия</i> скорости ветра
2011	$П = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{32}{84} \times 100 = 38\%$	$П = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{85}{98} \times 100 = 87\%$
2012	$П = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{20}{69} \times 100 = 29\%$	$П = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{107}{114} \times 100 = 94\%$

$$\begin{array}{ll}
2013 & \Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{27}{77} \times 100 = 32\% \qquad \Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{94}{105} \times 100 = 90\% \\
2014 & \Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{13}{60} \times 100 = 22\% \qquad \Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{110}{112} \times 100 = 90\% \\
2015 & \Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{22}{60} \times 100 = 23\% \qquad \Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{65}{87} \times 100 = 75\% \\
& \Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{112}{385} \times 100 = 29\% \qquad \Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{461}{526} \times 100 = 87\%
\end{array}$$

Далее рассчитаем **оправдываемость U и предупредительность Π** наличия или отсутствия скорости ветра для матриц **инерционного прогноза**.

Оправдываемость Упрогноза факта *наличия* скорости ветра

Оправдываемость Упрогноза факта *отсутствия* скорости ветра

$$\begin{array}{ll}
2011 & U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{22}{45} \times 100 = 49\% \qquad U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{114}{137} \times 100 = 83\% \\
2012 & U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{5}{27} \times 100 = 19\% \qquad U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{134}{156} \times 100 = 76\% \\
2013 & U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{12}{36} \times 100 = 34\% \qquad U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{122}{146} \times 100 = 84\% \\
2014 & U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{3}{25} \times 100 = 12\% \qquad U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{135}{157} \times 100 = 86\% \\
2015 & U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{17}{44} \times 100 = 39\% \qquad U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{111}{138} \times 100 = 80\% \\
& U = \frac{n_{11}}{n_{10}} \times 100\% = \frac{59}{177} \times 100 = 33\% \qquad U = \frac{n_{22}}{n_{20}} \times 100\% = \frac{616}{734} \times 100 = 84\%
\end{array}$$

	Предупредительность факта <i>наличия</i> скорости ветра	Предупредительность факта <i>отсутствия</i> скорости ветра
2011	$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{22}{45} \times 100 = 49\%$	$\Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{114}{137} \times 100 = 85\%$
2012	$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{5}{27} \times 100 = 19\%$	$\Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{134}{156} \times 100 = 86\%$
2013	$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{12}{36} \times 100 = 34\%$	$\Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{122}{146} \times 100 = 84\%$

2014	$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{3}{25} \times 100 = 12\%$	$\Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{135}{157} \times 100 = 86\%$
2015	$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{17}{44} \times 100 = 39\%$	$\Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{111}{138} \times 100 = 80\%$
	$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} \times 100\% = \frac{59}{177} \times 100 = 34\%$	$\Pi = \frac{n_{22}}{n_{02}} \times 100\% = \frac{616}{734} \times 100 = 84\%$

Критерий качества прогноза Пирси-Обухова

$$T = \frac{n_{11}}{n_{01}} - \frac{n_{12}}{n_{02}} \circ \frac{n_{22}}{n_{02}} - \frac{n_{21}}{n_{01}} = \frac{112}{385} - \frac{65}{526} \circ \frac{461}{526} - \frac{273}{385} = 0,17 \circ 0,17$$

Величина T принимает значения от $-1,0$ до $1,0$. Для идеального прогноза $T=1,0$.

Рассчитаем критерий независимости Пирсона для методического прогноза, для этого преобразуем формулу 2.9 и представим ее в следующем виде:

$$C^2 = \frac{(n_{11}^M - n_{11}^{cl})^2}{n_{11}^{cl}} + \frac{(n_{12}^M - n_{12}^{cl})^2}{n_{12}^{cl}} + \frac{(n_{21}^M - n_{21}^{cl})^2}{n_{21}^{cl}} + \frac{(n_{22}^M - n_{22}^{cl})^2}{n_{22}^{cl}}$$

$$C^2 = \frac{(112 - 77)^2}{77} + \frac{(65 - 100)^2}{100} + \frac{(273 - 308)^2}{308} + \frac{(461 - 426)^2}{426} = 35$$

Уровень значимости $\alpha=0,05$ (т.е. в 5% случаях возможно подтверждение нулевой гипотезы), получим $\chi_{av}^2=3,8$.

По правилу $\chi^2 > \chi_{av}^2$, то гипотеза о независимости признаков отклоняется, т.к. между признаками наблюдается взаимозависимость.

Рассчитаем критерий независимости для инерционного прогноза

$$C^2 = \frac{(59 - 77)^2}{77} + \frac{(118 - 100)^2}{100} + \frac{(118 - 308)^2}{308} + \frac{(616 - 426)^2}{426} = 209$$

По правилу $\chi^2 > \chi_{av}^2$, то гипотеза о независимости признаков отклоняется, т.к. между признаками наблюдается взаимозависимость.

Далее рассчитаем общую оправдываемость методического прогноза по формуле 2.11

$$P_{\text{общ}}^M = \frac{n_{11}^M + n_{22}^M}{N} \times 100 = \frac{112 + 461}{911} \times 100 = 63\%$$

Общую оправдываемость случайного прогноза скорости ветра

$$P_{\text{общ}}^{\text{сл}} = \frac{n_{11}^{\text{сл}} + n_{22}^{\text{сл}}}{N} \times 100\% = \frac{77 + 426}{911} * 100 = 55\%$$

Общую оправдываемость инерционного прогноза скорости ветра

$$P_{\text{общ}}^{\text{ин}} = \frac{n_{11}^{\text{ин}} + n_{22}^{\text{ин}}}{N} \times 100\% = \frac{59 + 616}{911} \cdot 100 = 74\%$$

Рассчитаем критерий надежности прогнозов *Н.А. Багрову* по формуле 2.12

$$H = \frac{P_{\text{общ}} - P_{\text{сл}}}{100 - P_{\text{сл}}} = \frac{66 - 55}{100 - 55} = 0,2$$

$$H = \frac{P_{\text{ин}} - P_{\text{сл}}}{100 - P_{\text{сл}}} = \frac{74 - 55}{100 - 55} = 0,4$$

Если значение $H > 0,6$, то значит прогноз считается идеальным, а если значение H меньше $0,6$ – удовлетворительным. Исходя из расчетов, $H < 0,6$ надежность прогнозов считается удовлетворительной.

Далее рассчитаем **критерий точности прогнозов** *Q* по *М.А. Обухову* по формуле 2.14

Для матрицы сопряженности методического прогноза

$$Q = 1 - \frac{265}{177} + \frac{273}{734} = 0,260$$

Для матрицы сопряженности инерционного прогноза

$$Q = 1 - \frac{118}{177} + \frac{118}{734} = 0,173$$

Если значение $Q > 0,6$, то значит, точность прогнозов считается идеальной, а если значение Q меньше $0,6$ – удовлетворительным. Исходя из расчетов, $Q < 0,6$ точность методических и инерционных прогнозов можно считать удовлетворительными.

Количество прогностической информации и информационное отношение.

Найдем энтропийное отношение для методического прогноза по формулам 2.16, 2.17, 2.19, 2.20

$$H(\Phi) = -\frac{10}{911} \lg \frac{10}{911} + \frac{20}{911} \lg \frac{20}{911} = -\frac{10}{911} \lg \frac{10}{911} + \frac{20}{911} \lg \frac{20}{911} = - (0,2 \lg 0,2 + 0,8 \lg 0,8) = 0,22$$

$$H(\Pi) = -\frac{n_{01}}{911} \lg \frac{n_{01}}{911} - \frac{n_{02}}{911} \lg \frac{n_{02}}{911} - \frac{n_{11}}{385} \lg \frac{n_{11}}{385} - \frac{n_{12}}{385} \lg \frac{n_{12}}{385} - \frac{n_{21}}{385} \lg \frac{n_{21}}{385} - \frac{n_{22}}{385} \lg \frac{n_{22}}{385} =$$

$$-\frac{12}{385} \lg \frac{12}{385} - \frac{273}{385} \lg \frac{273}{385} - \frac{65}{526} \lg \frac{65}{526} - \frac{461}{526} \lg \frac{461}{526} = 0,04$$

$$I = H(\Phi) - H(\Pi) = 0,22 - 0,04 = 0,18$$

$$v = \frac{H(\Phi) - H(\Pi)}{H(\Phi)} = \frac{0,22 - 0,04}{0,22} = 0,82$$

Величина v показывает, какая часть неопределенности климатологических прогнозов (природной неопределенности осуществления явления) устраняется с помощью методических прогнозов.

$v = 0$ – прогнозы на уровне случайных;

$v = 1$ – прогнозы на уровне идеальных, если $n_{12} = n_{21} = 0$.

И также $v = 1$, если все прогнозы ошибочны.

Из расчетов следует, что $v = 0,82$ значит прогнозы близки к идеальным.

Найдем энтропийное отношение для инерционного прогноза используя те же формулы, что и для методических прогнозов.

$$H(\Phi) = -\frac{10}{911} \lg \frac{10}{911} + \frac{20}{911} \lg \frac{20}{911} = -\frac{10}{911} \lg \frac{10}{911} + \frac{20}{911} \lg \frac{20}{911} = - (0,2 \lg 0,2 + 0,8 \lg 0,8) = 0,22$$

$$H(\Pi) = -\frac{n_{01}}{911} \lg \frac{n_{01}}{911} - \frac{n_{02}}{911} \lg \frac{n_{02}}{911} - \frac{n_{11}}{177} \lg \frac{n_{11}}{177} - \frac{n_{12}}{177} \lg \frac{n_{12}}{177} - \frac{n_{21}}{177} \lg \frac{n_{21}}{177} - \frac{n_{22}}{177} \lg \frac{n_{22}}{177} =$$

$$-\frac{59}{177} \lg \frac{59}{177} - \frac{118}{177} \lg \frac{118}{177} - \frac{18}{734} \lg \frac{18}{734} - \frac{616}{734} \lg \frac{616}{734} = 0,21$$

$$I = H(\Phi) - H(\Pi) = 0,22 - 0,21 = 0,01$$

$$v = \frac{H(\Phi) - H(\Pi)}{H(\Phi)} = \frac{0,22 - 0,21}{0,22} \approx 0,05$$

Величина v показывает, какая часть неопределенности климатологических прогнозов (природной неопределенности осуществления явления) устраняется с помощью инерционных прогнозов.

$v = 0$ – прогнозы на уровне случайных;

$v = 1$ – прогнозы на уровне идеальных, если $n_{12} = n_{21} = 0$.

И также $v = 1$, если все прогнозы ошибочны.

Из расчетов следует, что $v = 0$, то прогнозы на уровне случайных.

Рассчитаем коэффициент Гутмана для методических прогнозов по формулам 2.21, 2.22 и 2.23

$$I(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{i0 \max}}{N - n_{i0 \max}} = \frac{(273 + 461) - 526}{911 - 526} = 0,5$$

$$I(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{j=1}^m n_{\max j} - n_{\max 0}}{N - n_{\max 0}} = \frac{(273 + 461) - 734}{911 - 734} = 0$$

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{0 j \max} + \sum_{j=1}^m n_{j \max} - n_{i0 \max}}{2N - n_{i0 \max} - n_{0 j \max}} = \frac{((273 + 461) - 734) + ((273 + 461) - 734)}{2 \cdot 911 - 526 - 526} = 0$$

В нашем случае значения $\lambda(\Phi/\Pi)$ и $\lambda(\Pi/\Phi)$ равны нулю, но это не может означать независимость исследуемых переменных.

Рассчитаем коэффициент Гутмана для инерционного прогноза по тем же формулам что и для методического прогноза

$$I(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{i0 \max}}{N - n_{i0 \max}} = \frac{(118 + 616) - 734}{911 - 734} = 0$$

$$I(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{j=1}^m n_{\max j} - n_{\max 0}}{N - n_{\max 0}} = \frac{(118 + 616) - 734}{911 - 734} = 0$$

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n n_{i \max} - n_{0 \max} + \sum_{j=1}^m n_{j \max} - n_{i0 \max}}{2N - n_{i0 \max} - n_{0 \max}} = \frac{((118 + 616) - 734) + ((118 + 616) - 734)}{2 \cdot 911 - 734 - 734} = 0$$

В нашем случае значения $\lambda(\Phi/\Pi)$ и $\lambda(\Pi/\Phi)$ равны нулю, но это не может означать независимость исследуемых переменных.

Результаты расчетов по имеющимся данным по прогнозу скорости ветра в порту г. Мурманска занесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Критерий успешности

Критерий	Методический прогноз	Инерционный прогноз
P	63	74
H	24	42
Q	0,26	0,17
U	63	33
λ	0	0

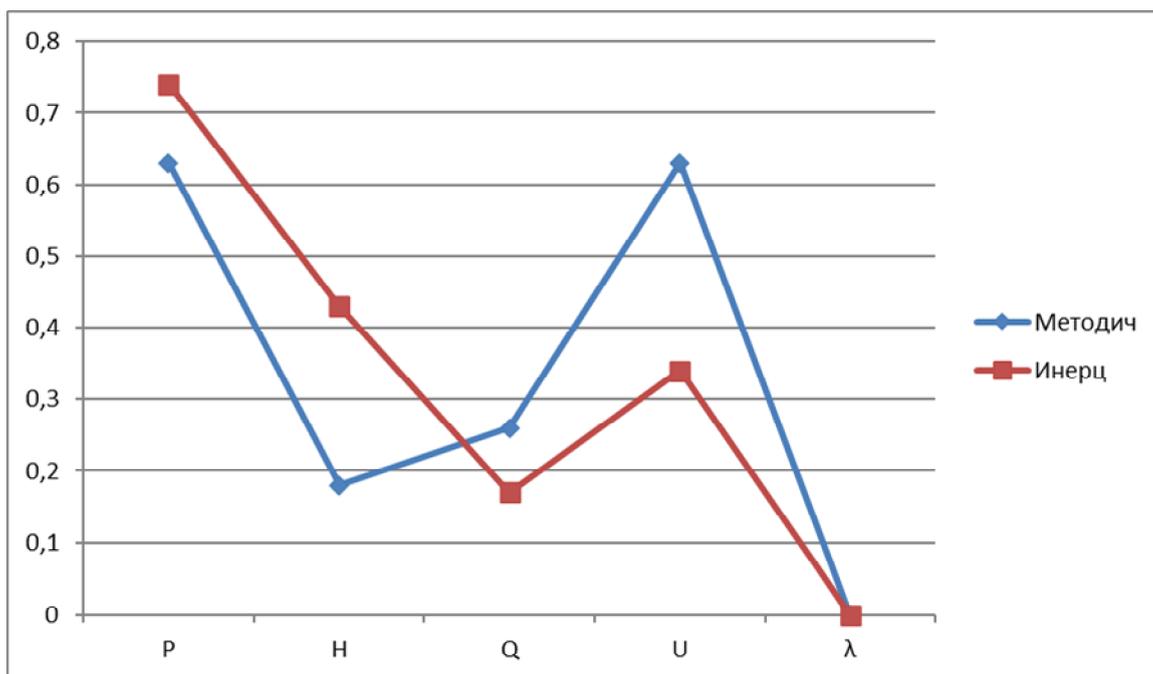


Рис.1. Результаты расчета критерия успешности по прогнозу скорости ветра в порту г. Мурманска.

Из таблицы 3.2 можно сделать вывод, что инерционные прогнозы имеют высокую общую оправдываемость и степень надежности. Методические прогнозы оказались наиболее точными. Оправдываемость прогноза факта наличия скорости ветра у методического прогноза выше, чем у инерционного.

Сопоставив успешности методического и инерционного прогнозов видим, что критерий успешности говорит в пользу методического прогноза. Предпочтение первого в практике очевидно.

3.3. Оценка экономической полезности для морского порта г. Мурманск

Меры защиты от неблагоприятной погоды не являются идеальными и поэтому потери предотвращаются лишь частично. Суть понятия «частичные меры защиты» заключается в следующем: потребитель располагает некардинальными мерами защиты, что означает, что он не может в полной мере предотвратить потери, если наблюдались неблагоприятные погодные условия Φ , из этого следует, что потребитель не частично защищается, а его защитные меры только частично предотвращают потери.

Матрица потерь при частичных мерах защиты будет иметь вид:

$$(s_{ij}) = \begin{array}{c|cc} \begin{array}{c} \Phi \\ \bar{\Phi} \end{array} & d(\Pi) & d(\bar{\Pi}) \\ \hline \begin{array}{c} \Phi \\ \bar{\Phi} \end{array} & s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ \hline \begin{array}{c} \Phi \\ \bar{\Phi} \end{array} & s_{21} & s_{22} \end{array}$$

где,

$s_{11} = C$ - затраты на меры защиты;

$s_{12} = L$ - прямые потери в случае пропусков, ошибок или опасного условия погоды и явления;

$s_{22} = 0$ - отсутствие потерь при благоприятных погодных условиях;

ε - коэффициент непредотвращенных потерь, который равен отношению доли непредотвращенных потерь ($\varepsilon s_{12} = \varepsilon L$) к максимальным потерям ($s_{12} = L$).

Данные меры защиты не являются кардинальными, следовательно, часть потерь предотвратить не удастся. Потери, которые непредотвращены, рассматриваются как доля от максимально возможных

прямых потерь от опасных условий погоды и явлений. Однако, определенная часть возможных потерь оказывается можно предотвратить. Если имеются общие издержки потребления - за счет природных явлений и за собственный, то этот результат будет положительный за счет снижения общих издержек и использования прогнозов.

Напрасно израсходованные средства на меры защиты вызывают ошибки. Матрица, содержащая потери за счет внешних и внутренних факторов является общим показателем погодозависимости морского порта г. Мурманск. Данная матрица потерь отражает действия потребителя с ожидаемыми погодными проявлениями. Очевидно, показатели погодных условий должны включать следующие элементы матрицы потерь, которые бы полно отражали зависимость потребителя от метеоусловий. В такой оценке придается особое значение не только предотвращению части потерь, но и той части, которую предотвратить не удастся.

Далее дадим экономическую оценку погодозависимости морского порта. Матрица потерь определяется некоторыми экономическими показателями, например, расходы на защитные мероприятия, непредотвращения части потерь, стоимость судосуток и грузооборот порта.

Таблица 3.3

Грузооборот порта Мурманск по годам

Год	Грузооборот, млн. т.
2011	25,7
2012	23,7
2013	31,4
2014	21,9
2015	22,0
Σ	124,7



Рис. 2 Грузооборот морского порта Мурманска

Как видно из рисунка 2 общий грузооборот в 2012 снизился на 2 млн.т., а в 2013 году повысился на 7,7 млн.т.. В 2014 году понизился на 9,5 млн.т., а в 2015 году снова вырос на 0,1 млн.т.



Рис. 3 Структура грузооборота ММТП

Из рис.3 видно, что 94,3% от общего объема – это экспортные грузы, импортные грузы составили 3,6% от общего объема грузов, каботажные грузы составили 2% и 0,1% местные грузы.

В работе представлена матрица потерь для морского порта за пять лет. Данная матрица была пересчитана с помощью коэффициента дефлятора принятым равным 1,1. Из таблицы 3.2 видно, грузооборот морского порта за исследуемые годы составил 124,7 млн. т, средний показатель составляет приблизительно 24,94 млн. т./год. Среднесуточный (Q_i) объем составляет 68,33 тыс.т.

Далее рассчитаем судооборот n_c по формуле:

$$n_c = \frac{Q_i}{D_i \times \beta_i} = \frac{68,33}{12,2 \times 0,85} = 6 \text{ судов} \quad (3.1)$$

где, Q_i – средний грузооборот порта за сутки (68,33 тыс.т.);

D_i – средняя грузоподъемность судов (12,2 тыс.т.);

β_i – средний коэффициент грузоподъемности судов (0,85).

Далее рассчитаем стоимость 1 суток стоянки судов в порту, если расходы для судов среднего класса составляют 0,491 млн. руб./сут. Общая стоимость составит 2,9 млн. руб.

На меры защиты (s_{11}) расход составит 2,42 млн. руб. Максимальные потери (s_{12}) составят 7,2 млн. руб./сут. Непредотвращенные потери (ϵs_{12}) составят 1,32 млн.руб./сут. Величина напрасно принятых мер защиты (s_{21}) составит 1,33 млн.руб./сут.

Матрица потерь для морского порта будет выглядеть следующим образом

$$(s_{ij}) = \begin{array}{c|cc} \begin{array}{c} \hat{\epsilon} \\ \hat{\epsilon} \\ \hat{\epsilon} \end{array} & \begin{array}{c} d(\Pi) \\ 2,42 + 1,32 \\ 1,33 \end{array} & \begin{array}{c} d(\bar{\Pi}) \\ 7,2 \\ 0 \end{array} \\ \hline & & \begin{array}{c} \text{млн.руб.} \\ \text{прогноз} \end{array} \end{array}$$

Задача потребителя заключается в том, чтобы постоянно вести поиск более эффективных организационных, финансовых и технологических мер защиты.

Рассмотрим пример выбора оптимальной стратегии потребителем ММП.

Вычислим величину ϵ по формуле

$$e = \frac{L > e}{L} = \frac{7,2 > 0,25}{7,2} = 0,25 \quad (3.2)$$

Отсюда,

$$\frac{C}{L(1 - e)} = \frac{1,33}{7,2(1 - 0,25)} = 0,25 \quad (3.3)$$

По матрице сопряженности альтернативного прогноза скорости ветра найдем

$$p_{10} = \frac{n_{10}}{N} = \frac{177}{911} = 0,194 \quad (3.4)$$

Сравнив значения p_{10} и $\frac{C}{L(1 - e)}$ видно, что потребителю выгодно постоянно принимать меры защиты.

В процессе долговременной адаптации достигается снижение *средних (байесовских) потерь*

$$(\overline{DR}_m^{ин} = \overline{R}_{ин} - \overline{R}_m) \quad (3.5)$$

Рассчитаем средние потери (уточненные байесовские) при использовании методических и инерционных прогнозов

$$\overline{R} = \frac{1}{N} [n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2e)) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12}] \quad (3.6)$$

$$\overline{R}_m = \frac{1}{911} [112(2,42 - 7,2(1 - 2 \times 0,25)) + 273 \times 1,33 + 65 \times 7,2] = 0,77 \text{ млн. руб. / прогноз}$$

$$\overline{R}_{ин} = \frac{1}{911} [59(2,42 - 7,2(1 - 2 \times 0,25)) + 118 \times 1,33 + 118 \times 7,2] = 1,03 \text{ млн. руб. / прогноз}$$

$$\overline{R}_{кл.1} = \frac{s_{11}n_{10} + s_{21}n_{20}}{N} = \frac{2,42 \times 177 + 1,33 \times 734}{911} = 1,54 \text{ млн. руб. / прогноз} \quad (3.7)$$

Рассчитаем средние потери по формуле 3.5

$$(\overline{DR}_m^{ин} = \overline{R}_{ин} - \overline{R}_m) = 1,03 - 0,77 = 0,26 \text{ млн. руб. / прогноз}$$

Далее рассчитаем *экономический эффект* методических прогнозов по формуле

$$\mathcal{E} = bN[(\overline{R}_{ин} - \overline{R}_m) - 3_{ин}] \quad (3.8)$$

где, β - коэффициент долевого участия системы Гидрометслужбы, равный 0,7;

N – общее число прогнозов, равное 911;

$R_{ин}$ и $R_{м}$ – средние потери при использовании инерционных и методических прогнозов;

$Z_{ин}$ – стоимость единицы прогностической информации, равное 0,0017 млн.руб.

$$\mathcal{E} = 0,7 \times 911(0,2600 - 0,0017) = 164,71 \text{ млн.руб.}$$

Для сравнительной оценки экономической полезности рассчитаем экономическую эффективность по формуле

$$P = \frac{\mathcal{E}}{N Z_{ин}} = \frac{164,71}{911 \times 0,0017} = 106,35 \text{ руб.} \quad (3.9)$$

Из расчетов видно, что средний экономический эффект равен 164,71 млн.руб., а за 5 лет составит 223,6 млн.руб. Сбережение материальных средств составит 106,35 руб. за счет снижения потерь при использовании методических прогнозов.

Прогнозы могут быть экономически выгодными и использоваться на практике, если они отвечают требованиям $\frac{C}{L(1-\epsilon)}$.

Далее рассчитаем успешность прогноза по формуле

$$Q^* = q_{11} + q_{22} - 1 = 0,85 \times 0,7 - 1 = 0,55 \quad (3.10)$$

Необходимо, чтобы точность прогнозов превышала пороговое значение

$$Q_{пор}^* = p_{10} - \frac{C}{L(1-\epsilon)} = 0,194 - 0,25 = -0,06 \quad (3.11)$$

Из расчетов 3.10 и 3.11 видно, точно прогнозов выше порогового значения. Выполнение данного условия дает возможность считать, что использование прогнозов выгоднее, чем применение климатологических стратегий.

Адаптация потребителя к ожидаемым условиям погоды предполагает научную обоснованную организацию защитных мер. Целью адаптации является обеспечение максимальной выгоды от использования прогнозов, применяя наиболее эффективные меры защиты.

В качестве приближенной характеристики может выступать мера вида

$$a_1 = (1 - q_{12}^*)(1 - e) \quad (3.12)$$

$$a_1 = (1 - 0,37)(1 - 0,25) = 0,47$$

Показатель выявления погодных условий β характеризует возможность предотвращения потери и вычисляется по формуле

$$b_1 = 1 - \frac{C}{L(1 - e)} \quad (3.13)$$

Показатель V_1 характеризует успешность реализации средств, потраченные на меры защиты.

$$b_1 = 1 - \frac{1,33}{7,2(1 - 0,25)} = 0,25$$

Исходя из расчетов можно сделать вывод, что средства, потраченные на реализацию защитных мер оказались эффективными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель исследования дипломной работы заключается в оценке успешности прогнозов скорости ветра и выяснения экономической полезности для порта г. Мурманск. Для достижения поставленных целей выполнены следующие задачи:

1. Сформирована база данных скорости ветра в порту г. Мурманск за период с 2011 – 2015 гг.
2. Построены матрицы сопряженности.
3. Рассчитаны критерии успешности прогнозов скорости ветра.
4. Обоснована экономическая полезность.

Развитие порта Мурманск в целом имеет стратегическое значение в обеспечении жизнеспособности региона. Достижение конкурентоспособного развития порта, его экономической результативности, в том числе в долгосрочной перспективе, потребует комплексных усилий: необходимы новые научные и прикладные исследования, государственная поддержка в реализации их результатов.

Результаты оценки успешности прогнозов могут быть более и менее успешными, могут меняться от сезона к сезону и это зависит от ряда причин и интенсивности синоптических процессов. Методика, представленная в данной работе говорит о необходимости сравнения различных методов и приемов прогноза. В практике возникает ситуация, когда инерционные прогнозы имеют высокую общую оправдываемость и степень надежности, хотя методические прогнозы оказались наиболее точными. Оправдываемость прогноза факта наличия скорости ветра у методического прогноза выше, чем у инерционного. Вместе с тем, можно сделать вывод о том, что инерционный прогноз точнее и при составлении он требует меньших затрат по времени.

Сопоставив успешности методического и инерционного прогнозов видим, что критерий успешности говорит в пользу методического прогноза. Предпочтение первого в практике очевидно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акентьева Е.М, Богданова Э.Г, Кобышева Н.В. и др. Климат России.- СПб.:Гидрометеиздат, 2001- 656с.
2. Анциферова А.Р, Сиекиен Е.Д, Чаус О.М Изменение климата на Кольском полуострове. Погодные аномалии XXI века. Мурманск 2017
3. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. –М.: Росгидромет, 2014-60с.
4. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. Учебное пособие (2-е издание). БХВ-П, -2010-288с.
5. Деркачев А.И., Зеленский Н.С. Методические аспекты оценки успешности альтернативного прогноза тумана по пункту Челябинск. – В. 2023 – 6 с.
6. Демин В.И , Анциферова А.Р, Мокротоварова О.И. Изменение температуры воздуха в Мурманске с начала XIX века. Вестник Кольского научного центра, РАН – 2012 - 125 с.
7. Скирда И.А, и др. Авиационные прогнозы погоды. М.,Воениздат, -1995-424с.
8. Монокрович Э.И. Гидрометеорологическая информация в народном хозяйстве. Л.: Гидрометеиздат, 1980-175 с.
9. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб: Л.: Гидрометеиздат, 2000-778с.
10. Моргунов В.Н. Основы метеорологии, климатологии: учебник для вузов. - Ф, 2005-331с.
11. Пиловец Г.И. Метеорология и климатология. М. -2013-398 с.
12. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы коррекционного и регрессивного анализа в агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1990-206 с
13. Хандожко Л.А. Оценка экономического эффекта прогнозов погоды. – Л.: Ленуприздат, 1987 – 52с
14. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. – СПб.: Гидрометиздат, 2005 – 490 с.
15. Яковлев Б. Я., Климат Мурманской области. Мурманское книжное

издательство, 1961 - 199с.

16. <https://pogoda51.ru/opisanie-klimata-murmanska-po-meteorologicheskim-elementam>.

Приложение 1

Сводная таблица результатов суточных прогнозов скорости ветра (м/с) по г. Мурманск за период 2011г. Январь-март и октябрь-декабрь

Месяц	январь		февраль		март		октябрь		ноябрь		декабрь	
Дата	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф
1	9	11	10	7	17	17	15	22	11	10	20	21
2	10	10	9	8	20	18	11	13	17	16	17	20
3	7	7	7	8	27	23	9	10	10	12	14	16
4	7	12	9	6	20	24	9	10	17	5	14	14
5	8	13	10	14	20	18	4	7	17	16	8	12
6	12	10	8	9	18	14	17	7	18	16	9	11
7	10	8	13	13	18	17	20	16	18	13	9	11
8	9	9	11	12	18	16	16	21	16	16	10	11
9	12	9	14	7	22	23	16	14	12	14	11	11
10	11	5	11	9	15	18	14	18	13	9	11	9
11	11	10	11	13	11	14	16	12	15	9	12	9
12	9	13	8	9	15	11	15	9	15	10	13	9
13	5	6	14	9	8	11	14	16	22	17	17	12
14	6	7	10	8	10	10	14	13	30	21	14	16
15	18	11	5	8	15	15	14	13	17	28	15	14
16	20	21	9	5	18	17	14	13	17	13	13	10
17	11	21	5	9	18	18	11	9	11	11	11	12
18	10	14	9	9	16	17	19	9	16	10	10	5
19	8	10	14	11	15	15	20	20	16	14	9	6
20	17	9	13	11	17	17	14	18	15	19	10	9
21	17	13	15	14	20	16	14	14	13	16	10	10
22	14	16	17	23	23	28	10	11	14	12	17	9
23	8	13	17	16	15	19	13	9	17	15	18	21
24	10	11	24	14	17	18	15	12	18	18	18	19



25	13	14	24	24	20	23	13	14	17	14	18	16
26	18	13 [↑]	18	21	14	16	8	9	18	16	17	16
27	17	18 [↓]	20	17	10	16	10	9	17	14	16	14 [↑]
28	12	22	17	17	10	11	11	9	15	11	15	17 [↓]
29	15	10 [↑]			15	9	12	9	18	13 [↑]	12	17
30	14	15 [↓]			9	10 [↑]	15	11	20	20 [↓]	16	9
31	13	13			14	13 [↓]	14	10			10	12
n ₀₁ =84, n ₀₂ =98, n ₁₀ =45, n ₂₀ =137, N=182												

Сводная таблица результатов суточных прогнозов скорости ветра (м/с) по г.Мурманск за период январь-март и октябрь-декабрь 2012года.

Месяц	январь		февраль		март		октябрь		ноябрь		декабрь	
Дата	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф
1	11	11	15	11	14	13	12	9	11	11	12	5
2	16	13 [↑]	14	11	20	23	12	11	14	10	10	8
3	16	16 [↓]	12	12	18	18	13	12	12	7	4	6
4	10	10	14	14	8	11	11	11	11	8	5	11
5	11	6	16	11	9	7	14	7	16	12	9	9
6	10	5	10	12	10	10	17	10	13	12	9	7
7	12	4	14	11	14	14	14	9	15	9 [↑]	14	7
8	8	5	17	13 [↑]	20	11 [↑]	14	11	17	17 [↓]	13	7
9	7	8	20	17 [↓]	23	22 [↓]	8	9	17	15	11	7
10	10	6	23	21	17	21	17	5 [↑]	16	12	10	5
11	12	10	15	18	15	13	17	21 [↓]	15	13	12	8
12	10	8	10	14	10	11	17	18	17	11 [↑]	11	5
13	11	8	17	11	11	7	12	13	17	20 [↓]	15	10
14	11	8	14	14	14	10	18	11 [↑]	12	13	17	14 [↑]
15	16	8 [↑]	14	11	18	13 [↑]	17	16 [↓]	10	6	15	16 [↓]
16	10	15 [↓]	17	13 [↑]	18	17 [↓]	14	14	12	9	17	16

17	10	11	17	15	18	14 [↑]	11	10	15	10	12	15
18	8	9 [↑]	20	18	16	16 [↓]	14	8	22	12 [↑]	10	13
19	10	14 [↓]	16	16	7	16	17	8 [↑]	18	16 [↓]	13	12
20	10	10	17	17	7	6	17	17 [↓]	17	16	12	14
21	9	9	16	16	5	5	15	14	17	11 [↑]	17	11 [↑]
22	11	6	10	12	11	8	16	10 [↑]	7	17 [↓]	16	17 [↓]
23	15	8 [↑]	7	10	14	10	20	14 [↓]	10	10	22	12 [↑]
24	17	14 [↓]	5	9	18	10 [↑]	23	12 [↑]	8	7	15	17 [↓]
25	14	16	10	9	13	17 [↓]	20	22 [↓]	8	8	11	14
26	12	11	8	7	8	9	14	20	7	4	8	9
27	13	12	17	9 [↑]	8	6	15	7	7	7	11	9
28	13	13	15	19 [↓]	13	8	8	8	6	10	7	6
29	10	13	12	14	15	14	14	7	8	11	18	7
30	11	11			13	11	13	13	8	11	20	13 [↑]
31	13	11			7	11	13	13			16	20 [↓]
n ₀₁ =69, n ₀₂ =114, n ₁₀ =27, n ₂₀ =156, N=183												

Сводная таблица результатов суточных прогнозов скорости ветра (м/с) по г. Мурманск за период 2013г. Январь-март и октябрь-декабрь.

Месяц	Январь		Февраль		Март		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф
1	12	12	10	12	14	13	14	10	9	11	17	12 [↑]
2	9	11	10	6	4	11	15	10 [↑]	10	10	17	20 [↓]
3	14	7	8	6	8	6	12	12 [↓]	13	10	23	16
4	16	9	8	5	15	10 [↑]	10	13	16	13	15	19
5	8	13	8	4	17	21 [↓]	11	11 [↑]	11	13	9	7
6	13	8	5	8	17	8 [↑]	15	13 [↓]	10	9	13	13
7	13	11	7	9	13	31 [↓]	7	10	8	14	9	8
8	10	9	7	7	18	14 [↑]	13	5	8	6	9	13

9	8	7	3	9	15	22	15	11 [↑]	13	9	8	11
10	16	6 [↑]	10	7	13	17	18	14 [↓]	15	12 [↑]	14	12 [↑]
11	18	13 [↓]	8	10	16	19	17	16	15	16 [↓]	25	17 [↓]
12	20	17	11	10	15	12	24	16	12	14 [↑]	22	24
13	11	13	12	9	7	11	18	27	18	15 [↓]	22	15
14	10	14	14	13	8	6	13	13	18	13 [↑]	11	16
15	10	11	8	11	5	7	18	16	22	16 [↓]	16	15
16	17	14 [↑]	10	8	11	9	10	16	18	19	17	15
17	16	15 [↓]	8	8	15	10 [↑]	8	11	18	17	10	15
18	24	17	8	4 [↑]	16	19 [↓]	22	5 [↑]	17	19	11	10
19	25	25	17	21 [↓]	14	15	24	18 [↓]	15	16	11	10
20	20	31	22	15	11	11	18	24	17	14 [↑]	10	8
21	18	19	15	16	17	12 [↑]	15	21	10	21 [↓]	7	5
22	23	18	22	11 [↑]	22	15 [↓]	13	15	15	10 [↑]	10	6
23	15	17	14	18 [↓]	11	12	11	10	15	16 [↓]	10	8
24	11	7	17	17	11	11	11	6	15	14 [↑]	16	5 [↑]
25	9	12	23	13 [↑]	10	14	10	7	12	17 [↓]	17	15 [↓]
26	11	10	17	20 [↓]	9	10	11	7	13	14	17	14 [↑]
27	11	9	11	13	11	11	13	6	22	8 [↑]	10	19 [↓]
28	11	10	15	8	13	9	11	3	23	22 [↓]	17	10
29	14	8			16	9	13	3	15	20	10	9
30	17	13			13	11	10	7	17	17	12	7 [↑]
31	14	14			15	13	9	10			9	13 [↓]
n ₀₁ =77, n ₀₂ =105, n ₁₀ =36, n ₂₀ =146, N=182												

Сводная таблица результатов суточных прогнозов скорости ветра (м/с) по г. Мурманск за период 2014г. Январь-март и октябрь-декабрь .

Месяц	Январь		Февраль		Март		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
Дата	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф

1	13	8	10	9	11	11	5	14	18	11↑	10	7
2	15	12	12	9	10	7	10	11	11	16↓	13	10
3	14	14	11	12	9	8	11	9	23	14↑	11	9
4	12	12	11	10	5	8	13	10↑	16	27↓	14	6↑
5	9	12	11	10	12	8↑	14	15↓	14	14↑	16	15↓
6	11	12	11	8	15	18↓	9	13	14	16↓	18	13↑
7	18	10	11	7	20	16	11	9	14	12↑	17	16↓
8	17	10	12	8	24	22	14	11	13	16↓	12	15
9	8	7	17	11↑	15	21	9	11	15	12↑	17	12
10	7	4	13	15↓	20	16	8	7	17	17↓	22	13↑
11	11	7	13	14	17	22	10	6	22	14	17	17↓
12	11	6	11	9	18	15	11	7	22	13↑	11	18
13	10	5	13	9	14	19	13	8↑	20	18↓	10	11
14	12	6	10	10	11	14	18	18↓	10	17	11	7↑
15	4	8	13	10	11	7↑	10	15	15	8	16	13↓
16	3	6	11	10	10	15↓	11	12	17	12	14	13
17	3	6	14	9	11	10	15	13	14	13	12	12
18	7	9	12	9	8	11	12	13	17	11	10	14
19	8	11	9	8	9	9	8	5	14	11	10	12
20	7	11	10	9	14	8	8	7	17	10	11	5
21	8	10	17	11	15	10	5	5	15	10	8	14
22	9	13	15	12↑	13	14	15	6	12	9	5	11
23	8	10	17	16↓	11	13	18	13	16	11↑	9	7
24	9	9	15	20	18	10	14	14	11	19↓	10	10
25	8	8	15	17	15	13	15	13	10	8	8	8
26	10	8	13	11	17	12↑	22	12↑	10	10	13	5
27	12	11	13	12	15	17↓	17	16↓	14	11	11	10
28	14	13↑	14	13	17	13↑	15	23	15	13	16	8
29	17	20↓			17	19↓	23	11↑	12	12	17	7↑



30	14	13			15	16	20	16	11	14	23	15
31	11	13			15	13	13	13			13	14
n ₀₁ =60, n ₀₂ =122, n ₁₀ =25, n ₂₀ =157, N=182												

Сводная таблица результатов суточных прогнозов скорости ветра (м/с) по г. Мурманск за период 2015г. Январь-март и октябрь-декабрь

Месяц	Январь		Февраль		Март		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф	П	Ф
1	13	9	17	12	18	16	14	11	17	15	7	8
2	17	11	12	12	15	17	13	7	14	17	14	9
3	13	13	10	9	11	16	14	12	16	16	16	12↑
4	17	10	17	10↑	10	10	17	8	22	14↑	12	17↓
5	9	7	17	18↓	16	9	15	14	12	20↓	15	13
6	16	11	15	15	17	14↑	13	13	13	10	18	12↑
7	16	12	25	15	25	21↓	13	11	15	6	18	17↓
8	13	9	13	27	22	20	9	9	15	10	13	16
9	10	11	25	15	22	18	11	9	15	9	14	12
10	6	9	14	24	15	16	11	11	10	11	10	13
11	6	4	15	13↑	15	12↑	10	7	9	10	15	11
12	7	10	25	16↓	23	20↓	9	8	10	6	17	11
13	9	8	15	20	25	20	11	6	16	8↑	17	10↑
14	9	5	14	22	17	20	15	9	16	16↓	18	16↓
15	9	6	16	16	17	19	17	12↑	13	15	18	21
16	9	9	17	15	16	21	14	15↓	13	10↑	21	20
17	12	4↑	20	19	16	16	11	16	15	16↓	17	17
18	18	15↓	16	19	18	12	10	9	9	16	17	17
19	20	19	10	14	23	13↑	10	10	5	6	17	16
20	14	11	12	8	18	17↓	15	10↑	8	9	12	16
21	8	11	17	12	14	13	16	16↓	10	9	9	11

22	9	11	13	13 \uparrow	11	12	12	12	11	5	11	8
23	10	8	17	16 \downarrow	12	8 \uparrow	14	8	16	13 \uparrow	15	9 \uparrow
24	12	8	15	13 \uparrow	15	17 \downarrow	17	11 \uparrow	14	17 \downarrow	22	16 \downarrow
25	14	10	14	18 \downarrow	10	17	14	18 \downarrow	16	14 \uparrow	20	17
26	16	12 \uparrow	18	11 \uparrow	18	6 \uparrow	20	11 \uparrow	24	15 \downarrow	23	17
27	11	15 \downarrow	17	19 \downarrow	20	18 \downarrow	20	16 \downarrow	13	15	11	19
28	16	13 \uparrow	18	17	13	15	17	17	16	12	12	10
29	9	15 \downarrow			17	12	12	10	15	12	14	13
30	9	10			17	14	10	10	11	11	16	12 \uparrow
31	22	7			17	14	13	11			17	18 \downarrow
n ₀₁ =95, n ₀₂ =87, n ₁₀ =44, n ₂₀ =138, N=182												

Критерий точки распределения χ^2

Число степеней свободы	Уровень значимости α					
	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,890
1	6,6	5,0	3,8	0,0039	0,00098	0,00016
2	9,2	7,4	6,0	0,103	0,051	0,020
3	11,3	9,4	7,8	0,352	0,216	0,115
4	13,3	11,1	9,5	0,711	0,484	0,297
5	15,1	12,8	ид	1,15	0,831	0,554
6	16,8	14,4	12,6	1,64	1,24	0,872
7	18,5	16,0	14,1	2,17	1,69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1,65
9	21,7	19,0	16,9	3,33	2,70	2,09
10	23,2	20,5	18,3	3,94	3,25	2,56
11	24,7	21,9	19,7	4,57	3,82	3,05
12	26,2	23,3	21,0	5,23	4,40	3,57
13	27,7	24,7	22,4	5,89	5,01	4,11
14	29,1	26,1	23,7	6,57	5,63	4,66
15	30,6	27,5	25,0	7,26	6,26	5,23