



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

Кафедра метеорологических прогнозов
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Информативность параметров структуры
метеорологических полей для анализа ветра в аэропорту
Пулково»

Исполнитель Егорова Вероника Игоревна

Руководитель кандидат географических наук, доцент

Граховский Геннадий Николаевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент

Дробжева Яна Викторовна

«25» января 2018 г.

Санкт-Петербург
2018

Оглавление

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| 1. ВЕТЕР В АТМОСФЕРЕ | 6 |
| 1.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЕТРА..... | 6 |
| 1.2 ГРАДИЕНТНЫЙ ВЕТЕР..... | 7 |
| 1.3 ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ..... | 9 |
| 1.4 ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЕ ВЕТРЫ И КАК ИХ ОПРЕДЕЛИТЬ..... | 12 |
| 1.5 МЕСТНЫЕ ВЕТРЫ И ФАКТОРЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ | 13 |
| 1.6 ПРИМЕРЫ МЕСТНЫХ ВЕТРОВ НА ЗЕМЛЕ | 15 |
| 2. ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ | 18 |
| 2.1 ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА | 18 |
| 2.2 Годовой ход | 24 |
| 2.3 Суточный ход | 26 |
| 3. СИЛЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЕТЕР..... | 28 |
| 3.1 СИЛА ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ | 28 |
| 3.2 СИЛА КОРИОЛИСА | 29 |
| 3.3 ГЕОСТРОФИЧЕСКИЙ ВЕТЕР..... | 30 |
| 3.4 СИЛА ТРЕНИЯ..... | 31 |
| 3.5 ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА | 32 |
| 3.6 ПОЛЕ ДАВЛЕНИЯ..... | 34 |
| 4. МНОГОФАКТОРНАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗИ ВЕТРА НА ВПП АЭРОПОРТА «ПУЛКОВО» С БАРИЧЕСКИМИ И ТЕРМИЧЕСКИМИ ГРАДИЕНТАМИ..... | 37 |
| 4.1 ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ..... | 37 |
| 4.2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ..... | 38 |
| 4.3 СТРУКТУРИРОВАНИЕ АРХИВА..... | 39 |
| 4.4 РАСЧЕТ ГРАДИЕНТНОГО ВЕТРА | 39 |
| 4.5 СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВЯЗИ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА В АЭРОПОРТУ «ПУЛКОВО» С БАРИЧЕСКИМ ГРАДИЕНТОМ | 41 |
| 4.6 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОНТРАСТА ТЕМПЕРАТУР | 45 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 53 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 54 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 56 |

Введение

Для жизнедеятельности современного человека немаловажное значение имеют метеорологические факторы, а отдельные виды человеческой деятельности практически полностью подчинены специфике их влияния. Такой отраслью является авиация. Постоянное развитие и совершенствование авиационной техники требует от авиационных метеорологов всестороннего исследования метеорологических условий внешней среды для эффективного и безопасного выполнения полетов летательных аппаратов всех видов. Поэтому основной задачей современной метеорологии является изучение процессов и явлений, влияющих на выполнение полетов, особенно прогнозирование опасных для полетов метеорологических явлений, обеспечение аэродромных служб научно обоснованной информацией об особенностях метеорологических условий полетов в конкретных регионах и на конкретных территориях.

Немаловажную роль среди множества метеорологических факторов, оказывающих влияние на совершение полетов, играет ветер. Такое метеорологическое явление как ветер характеризуется высокой степенью изменчивости во времени и пространстве, которая связана с постоянно наблюдаемой турбулентностью различного масштаба. Распределение ветра и его изменчивость имеют сложный характер и обусловлено различными факторами, которые требуют глубокого изучения. Особенно важно изучение свойств и условий возникновения ветров на территориях, имеющих сложное физико-географическое положение. К ним относятся территории, где наблюдается соседство суши с морем (озером), горные склоны, долины, ущелья, горные хребты, ледники и пр.

Зона воздушного движения аэропорта «Пулково» расположенный вблизи от Невской губы Финского залива (на расстоянии около 10 км) и Пулковских

высот. С одной стороны, близкое расположение двух важнейших транспортных портов: воздушного и морского, - предопределяет высокое экономическое развитие региона, а с другой вызывает особые метеорологические сложности для эксплуатации авиационной техники.

В связи с выше сказанным, исследование проблемы, рассматриваемой в данном дипломном проекте, является актуальной, как с позиции изучения локальных метеорологических процессов и явлений, происходящих на территории, имеющей сложное физико-географическое положение, так и в части обеспечения безопасности полетов в аэропорту.

Целью настоящей работы, является повышение качества прогноза приземного ветра в районе аэропорта «Пулково», на основании формирования многофакторной статистической модели.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Рассмотреть поле ветра и факторы его формирующие. Ознакомиться с особенностями ветрового режима Северо-Западного региона России;
2. Сформировать базу данных, состоящую из характеристик фактического ветра непосредственно на взлетно-посадочной полосе аэродрома «Пулково», барического и термического градиентов, снятого с приземных карт и карт АТ-850;
3. Структурировать архив по: 8 румбам, 12 месяцам, и на сроки 12 и 00 по UTS;
4. Произвести расчет параметров статистической модели между фактическим и градиентным ветром, задаваемые линией тренда и коэффициентом достоверности аппроксимации;
5. Построить лепестковые диаграммы визуализирующие влияние объема выборки на тесноту аппроксимации связи;

6. Разложить термический градиент, по отношению к фактическому ветру и рассчитать параллельные и перпендикулярные компоненты;
7. Получить уравнения множественной регрессии для трех предикторов, коэффициент достоверности аппроксимации;
8. По полученным уравнениям рассчитать фактический ветер и сравнить его с данными, полученными из аэропорта «Пулково»;
9. Рассчитать ошибки и сравнить их с ошибками при использовании одного предиктора;
10. Проанализировать полученные результаты.

В соответствии с поставленными задачами теоретическая часть исследования состоит из трех глав, практическая – из одной.

Объект исследования – ветер как важнейший метеорологический фактор, влияющий на выполнение полетов в аэропорту «Пулково».

Предмет исследования – связи ветра со структурными особенностями метеорологических полей.

Основными методами исследования являются анализ и синтез научной литературы, сравнение научных точек зрения, формирование базы данных, расчет параметров статистических моделей, метод построения регрессии, метод аппроксимации и другие.

1. Ветер в атмосфере

1.1 Основные характеристики, причины возникновения ветра

Ветер представляет собой поток воздуха в горизонтальном направлении. Он характеризуется скоростью (в м/сек., км/час, узлах) и направлением (в градусах), отсчитываемых по часовой стрелке от севера, обозначаемого нулем градусов. Направление ветра, принятое в метеорологии (откуда дует), отличается от аэронавигационного (куда дует) на 180° .

Определяющей причиной возникновения ветра является неравномерное распределение атмосферного давления по горизонтали. Ветер обусловлен разницей давления между двумя разными воздушными массами. Если существует барический градиент отличный от нуля, то ветер движется с ускорением от зоны высокого давления к низкому. Эта сила всегда направлена перпендикулярно по нормали к изобаре в сторону низкого давления. На планете, которая вращается, к этому градиенту прибавляется сила Кориолиса. Таким образом, главным фактором, который образует циркуляцию атмосферы в глобальном масштабе, является разница в нагреве воздуха между экваториальными и полярными областями, которая вызывает изменение в температуре и плотности потоков воздуха, а также и разницу в давлении. В результате действия этих факторов, движение воздуха в средних широтах в приземной области вплотную к ветру приводит к образованию геострофического ветра и его движению, направленного почти параллельно изобарам.

Важным фактором, который говорит о перемещениях воздуха, является его трение о поверхность, которая затормаживает это движение и заставляет воздух двигаться в сторону зоны с низким давлением. Кроме того, локальные барьеры и локальные градиенты температуры поверхности способны создавать местные ветры.

В большинстве районов Земли преобладают ветры, дующие в определенном направлении. Над полюсами преобладают восточные ветры, как и в тропиках, а в умеренных широтах — западные. На границах между этими поясами — полярном фронте и субтропическом хребте — находятся зоны затишья, где преобладающие ветры практически отсутствуют. В этих зонах движение воздуха преимущественно вертикальное, из-за чего возникают зоны высокой влажности (вблизи полярного фронта) или пустынь.

1.2 Градиентный ветер

Градиентный ветер представляет собой равномерное горизонтальное движение воздуха при отсутствии силы трения по прямолинейным и круговым траекториям, совпадающим с изобарами. Он образуется при условии равновесия между действующей силой градиента давления, а также центробежной и отклоняющей силой вращения Земли. Градиентный ветер примерно равен фактическому ветру в свободной атмосфере. [1]

Если движение воздуха происходит без действия силы трения, но криволинейно, то это значит, что, кроме силы градиента и отклоняющей силы вращения Земли, на ветер действует еще и центробежная сила, направленная по радиусу кривизны траектории наружу. Тогда в случае равномерного движения должны уравниваться уже три силы, действующие на воздух, — градиента, отклоняющая и центробежная.

«В принципе, такое движение может существовать при отсутствии барического градиента, но трудно представить, как это движение могло установиться, поскольку сила Кориолиса не действуют на неподвижные частицы воздуха. Только сила барического градиента может ускорять первоначально неподвижные частицы. Во всяком случае, такое движение не может быть устойчивым и не представляет интереса для метеорологической практики». [2]

Допустим, что траектории движения являются окружностями. Скорость в любой точке траектории направлена по касательной к окружности в этой точке. Отклоняющая сила направлена под прямым углом к скорости, то есть по радиусу окружности вправо (в северном полушарии). Центробежная сила также направлена по радиусу кривизны круговой траектории всегда в сторону ее выпуклости. Сила градиента должна уравнивать геометрическую сумму этих двух сил и лежать на одной прямой с ними, т. е. на радиусе окружности. Это значит, что и барический градиент направлен под прямым углом к скорости. Поскольку под прямым углом к градиенту лежит касательная к изобаре, то, соответственно, ветер направлен по изобаре.

Такой теоретический случай равномерного движения воздуха по круговым траекториям при отсутствии трения и принято называть градиентным ветром. Из вышеизложенного видно, что траектории при градиентном ветре совпадают с изобарами. Градиентный ветер, как и геострофический, направлен вдоль круговых изобар.

В понятие градиентного ветра часто включают также и геострофический ветер, как предельный случай градиентного ветра при радиусе кривизны изобар, равном бесконечности.

Для градиентного ветра возможны два случая: в циклоне и в антициклоне. В циклоне, т.е. в барической системе с самым низким давлением в центре, центробежная сила направлена всегда наружу, против силы градиента. Как правило, центробежная сила в действительных атмосферных условиях меньше силы градиента, поэтому для равновесия действующих сил нужно, чтобы сила Кориолиса была направлена так же, как центробежная сила, и они вместе уравнивали бы силу градиента. Тогда как ветер должен отклоняться на 90 градусов от силы Кориолиса, влево в северном полушарии. Ветер должен дуть по круговым изобарам циклона против часовой стрелки, отклоняясь от барического градиента вправо.

В антициклоне центробежная сила направлена наружу, в сторону выпуклости изобар, т.е. одинаково с силой градиента. Сила же Кориолиса должна быть направлена внутрь антициклона, чтобы уравнивать две одинаково направленные силы – градиента и центробежную. Скорость же ветра должна быть направлена так, чтобы ветер дул по круговым изобарам антициклона по часовой стрелке. Но приведенные рассуждения касаются только северного полушария. В южном полушарии, где сила Кориолиса направлена влево от скорости, градиентный ветер будет отклоняться от градиента влево. Поэтому для южного полушария движение воздуха по изобарам в циклоне получается по часовой стрелке, а в антициклоне – против часовой стрелки. Фактический ветер приблизительно равен градиентному ветру только в свободной атмосфере, где нет влияния силы трения.

1.3 Вертикальные движения в атмосфере

Воздушные массы перемещаются как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Вертикальные движения атмосферы – это восходящие и нисходящие потоки воздуха, когда атмосфера характеризуется неустойчивостью, связанной с вертикальным градиентом температуры.

Несмотря на то, что вертикальные скорости движения воздуха малы, они играют важную роль в формировании атмосферных процессов: обмене воздуха по вертикали, образовании облаков, осадков, гроз и других погодных и атмосферных явлений, которые имеют большое аэронавигационное значение (грозы, обледенения, турбулентность, болтанка). Такие перемещения характерны не только для слоев атмосферы, находящихся у поверхности Земли, но и для больших высот. При восходящих движениях воздуха происходит его охлаждение, которое обуславливает конденсацию водяного пара и выпадение

осадков. При нисходящих движениях водяной пар, наоборот, удаляется от состояния насыщения, облака рассеиваются, и наступает ясная погода.

«Возникновение вертикальных потоков обусловлено целым рядом разноплановых причин, которые имеют разную природу и масштабы. В первую очередь к ним относятся нестационарность атмосферных движений, силы турбулентной вязкости, силы плавучести, влияние орографических особенностей рельефа.

Важнейшая роль в формировании погоды принадлежит упорядоченным вертикальным движениям, связанным с нестационарностью атмосферных процессов и турбулентным трением. Упорядоченные вертикальные движения характеризуются большой горизонтальной протяженностью, сравнимой с размерами циклонов и антициклонов, они характеризуются незначительной изменчивостью во времени и пространстве. Скорость упорядоченных движений невелика и колеблется в пределах 1 – 10 см/с.

Фрикционные вертикальные движения, которые возникают под действием сил турбулентного трения в приземном слое, оказывают существенное влияние на формирование поля вертикальных скоростей в свободной атмосфере.» [3]

«Возникновение вертикальной скорости вызвано нарушением равновесия между силами Кориолиса и барического градиента при меридианных движениях. Сила Кориолиса и отклонение скорости возникает с увеличением широты. Если, например, движение направлено на север в Северном полушарии, широтная составляющая растет за счет убывания меридиональной составляющей и общая масса воздуха, которая остается на некотором широтном круге, возрастает. Этот процесс, в свою очередь, приводит к восходящим движениям и возрастанию приземного давления. А если геострофический ветер имеет примерно широтное направление, средняя скалярная скорость ветра и вертикальная составляющая скорости отсутствуют, равновесие сил не нарушается». [2]

«Восходящие вертикальные движения возникают в случае сходимости линий тока и сопровождаются увеличением полной массы атмосферного столба и соответствующим возрастанием приземного давления. Нисходящие вертикальные движения возникают при расходимости линий тока и ведут к падению приземного давления». [2]

Трехмерное поле давления может меняться в связи с изменением приземного давления или средней температуры атмосферного столба. При широтном геострофическом ветре отсутствует изменение приземного давления. А изменение средней температуры атмосферного столба может изменить поле давления, а, следовательно, и первоначальный геострофический ветер.

В распределении вертикальных движений есть свои особенности. Анализ синоптических карт показал, что температурные контрасты полюс – экватор неравномерно распределены по широте. Наблюдается сравнительно узкая зона, где сконцентрирована значительная часть энергии атмосферной циркуляции. Здесь отмечаются максимальные значения барических градиентов, а, следовательно, и скоростей ветра. Для таких областей было введено понятие высотной фронтальной зоны, а связанные с ней сильные западные ветры стали называть струйными течениями или струями. Обычно скорость ветра вдоль оси струи превышает 30 м/с, вертикальный градиент скорости ветра превышает 5 м/с на 1 км, а горизонтальный градиент скорости достигает 10 м/с и более на 100 км. Высотная фронтальная зона занимает большие географические пространства: ширина ее 800–1000 км, высота 12–15 км и длина 5–10 тыс. км. Она включает в себя обычно один или несколько фронтов и является местом возникновения подвижных фронтальных циклонов и антициклонов, перемещающихся по направлению основного (ведущего) потока. В периоды сильного развития меридиональности процессов высотная фронтальная зона как бы «извивается», огибая высотные гребни с севера и ложбины с юга. [4]

Значение массовой доли водяного пара в атмосфере изменяется в зависимости от вертикального распределения температуры воздуха. Обычно, как температура воздуха, так и массовая доля водяного пара с высотой в атмосфере уменьшаются. Но в атмосфере может наблюдаться и рост этих величин с высотой, особенно в приземном слое атмосферы. В большинстве исследованных случаев наблюдается увеличение массовой доли с высотой, то есть ее инверсионное распределение.

В некоторых случаях инверсионного распределения влажности воздуха инверсия температуры отсутствует или наблюдается изотермия. Но тогда в этих случаях происходят восходящие вертикальные движения, которые, возможно, и являются причиной увеличения с высотой значений массовой доли водяного пара.

Вертикальные движения воздуха в атмосфере являются важным погодообразующим фактором. Они обуславливают эволюцию полей температуры, влажности, ветра и, следовательно, оказывают существенное влияние на возникновение опасных для авиации явлений погоды. [3]

1.4 Преимущественные ветры и как их определить

Преимущественные ветры — ветры, которые дуют преимущественно в одном направлении над конкретной точкой земной поверхности. Являются частью глобальной картины циркуляции воздуха в атмосфере Земли, включая пассаты, муссоны, западные ветры умеренного пояса и восточные ветры полярных районов. В районах, где глобальные ветры слабы, преимущественные ветры определяются направлениями бриза и другими локальными факторами. Кроме того, глобальные ветры могут отклоняться от типовых направлений зависимости от наличия препятствий.

Чтобы определить направление преимущественного ветра используется роза ветров. Роза ветров («Роза компаса») – это векторная диаграмма, характеризующая в метеорологии и климатологии, режим ветра в данном месте по многолетним наблюдениям и выглядит как многоугольник, у которого длины лучей, расходящихся от центра диаграммы в разных направлениях, пропорциональны повторяемости ветров этих направлений. Роза ветров, построенная по реальным данным наблюдений, позволяет по длине лучей построенного многоугольника выявить направление преобладающего ветра, со стороны которого чаще всего приходит воздушный поток в данную местность. [5]

1.5 Местные ветры и факторы их образования

Местные ветры — ветры, отличающиеся какими-либо особенностями от главного характера общей циркуляции атмосферы, но, как и постоянные ветры, закономерно повторяющиеся и оказывающие заметное влияние на режим погоды в ограниченной части ландшафта или акватории. Образование местных ветров связано с характером подстилающей поверхности (орографией, типом поверхности - водой или сушей) и температурой.

Некоторые из ветров по существу являются воздушными течениями общей циркуляции атмосферы, но в определённом районе они обладают особыми свойствами, и потому их относят к местным ветрам и дают им собственные названия. [6]

Местные эффекты ветрообразования возникают в зависимости от наличия локальных географических объектов. Одним из таких эффектов является перепад температур между не очень отдалёнными областями, который может быть вызван различными коэффициентами поглощения солнечного света или разной теплоёмкостью поверхности. Последний из них наиболее ярко

проявляется между землей и поверхностью воды и вызывает бриз, который дует на побережье морей и крупных озёр. Его направление меняется дважды в сутки: дневной (или морской) дует с моря на побережье, согретое лучами Солнца. Ночной (или прибрежный) бриз имеет обратное направление.

Другим важным локальным фактором является наличие гор. Они оказывают очень разнообразное влияние на ветер, горы или создают ветровое движение, или же действуют как препятствие для его прохождения. Над холмами воздух нагревается больше, чем воздух на такой же высоте над низменностями, что создает зоны низкого давления над горами и приводит к образованию ветра. Этот эффект часто приводит к образованию горно-долинных ветров — преобладающих ветров в районах с неровной местностью. Увеличение трения у поверхности долин ведет к отклонению ветра, который дует параллельно долине, от поверхности на высоту окружающих гор, что приводит к образованию высотного струйного течения. Высотное струйное течение может превышать окружающий ветер по скорости на величину до 45 %. Обход гор может также изменять направление ветра.

Разница в высоте гор существенно влияет на движение ветра. Так, если в горном хребте, который преодолевает ветер, есть перевал, ветер проходит его с увеличением скорости. Даже небольшие различия в высоте вызывают колебания в скорости ветра. В результате значительного градиента скорости движения воздух становится турбулентным и остается на определенном расстоянии даже на равнине за горами. Такие эффекты важны, например, для взлёта и посадки самолётов на горных аэродромах. Быстрые холодные ветры, дующие сквозь горные проходы, получили множество местных названия.

Другие эффекты, связанные с прохождением ветра над горами — это подветренные волны, стоячие волны воздушного потока, проходящие за высокой горой и часто приводящие к образованию лентикулярных (*Altostratus lenticularis*) облаков. В результате этого и других эффектов прохождения ветра

через препятствия, над пересеченной местностью возникают многочисленные вертикальные течения и вихри. Кроме того, на наветренных склонах гор обильные осадки выпадают из-за адиабатического охлаждения воздуха, поднимающегося вверх, и конденсацией влаги в нём. С подветренной стороны, наоборот, воздух становится сухим, что вызывает образование дождливого сумрака. Вследствие этого, в районах, где преобладающие ветры преодолевают горы, влажный климат доминирует с наветренной стороны, а засушливый преобладает с подветренной. Ветры, дующие с гор в низкие районы, называются нисходящими ветрами. Эти ветры теплые и сухие. У них также есть многочисленные местные названия. Так, нисходящие ветры, спускающихся с Альп в Европе, известные как фён, этот термин иногда распространяют и на другие области. В Польше и Словакии нисходящие ветры известны как гальни (halny), в Аргентине — зонда, на острове Ява — коембанг (koembang), в Новой Зеландии — «норвестарк». На Великих Равнинах в США они известны как чинук, а в Калифорнии — Санта-Ана и сандаунер. Скорость нисходящего ветра может превышать 45 м/с.

1.6 Примеры местных ветров на Земле

Только на Байкале вследствие разницы прогрева воды и суши и сложного расположения крутосклонных хребтов с глубокими долинами различают не менее 5 местных ветров: баргузин — теплый северо-восточный, горный — северо-западный ветер, вызывающий мощные штормы, сарма — внезапный западный ветер, достигающий ураганной силы до 80 м/с, долинные — юго-западный култук и юго-восточный шелоник. Ну а кроме Байкала, местные ветры, охватывающие не малую площадь Земли, можно разделить на три группы: холодные, горно-долинные и пустынные. Рассмотрим некоторые из них.

К холодным можно отнести ветер Близзард, находящийся в Канаде и на Аляске. К ним же ветер Бора - сильный и порывистый ветер, дующий на побережье морей или больших озёр с горных хребтов, разделяющих сильно охлажденную и более теплую поверхность у их подножий, формируется, если низкая горная цепь отделяют холодный воздух над землёй от тёплого воздуха над водой. Этот ветер наиболее опасен в морозную погоду, когда он катится с большой скоростью (до 40-60 м/с) с горных хребтов к ещё не замёрзшему морю или озеру. Над поверхностью тёплой воды контраст температур между потоком холодного воздуха и тёплым морем значительно увеличивается, и скорость боры возрастает. Бора длится от нескольких суток до недели. Особенно типична бора на югославском побережье Адриатического моря, недалеко от Новороссийска (северо-восточный ветер), на западном склоне Урала — восточная Кизеловская бора и другие. То же самое относится к ветру Норд, только в районе Баку. А вторжение холодного сильного и сухого ветра из полярных регионов Европы вдоль долины Роны на побережье Французского залива от Монпелье до Тулона в зимне-весенний период (февраль, март) называется Мистраль. Памперо - холодный южный штормовой ветер в Аргентине. Сопровождается дождём и грозой. Затем скорость похолодания достигает 30 °С за сутки, атмосферное давление резко растёт, облачность рассеивается. Ну и конечно же пурга - сильный зимний ветер в Сибири, поднимающий снег с поверхности, в результате чего снижается видимость до 2-5 м.

Горно-долинные ветры: фёны (борнан, брева, талвинд, хелм, чинук, гармсиль) - теплые, сухие, порывистые ветры, переваливающие через хребты и дующие с гор по склону в долину, продолжаются менее суток. В разных горных районах фёновые ветры имеют свои местные названия.

Пустынные ветры - сухие, очень жаркие пыльные или песчаные ветры. Например, Самум - сухой горячий западный или юго-западный ветер в пустынях Сев. Африки и Аравии, налетает вихрем, закрывает Солнце и небо, бушует 15-20 мин; Хамсин (или «пятидесятидневник») - горячий штормовой ветер в Египте,

дующий из Аравии до 50 дней подряд; Эблис («пыльный дьявол») - внезапный подъем нагретого воздуха в безветренный день в виде вихря, увлекающего песок и другие предметы (растения, небольших животных) на очень большую высоту.

[7]

2. Особенности ветрового режима Северо-Западного региона России

2.1 Особенности ветрового режима

- 1) Расположение в северном полушарии;
- 2) Характер рельефа и климата пограничных территорий;
- 3) Климат региона (климат региона умеренно-континентальный, на побережье – морской);
- 4) Расположение на территории региона крупных озер (Ладожское (площадь 18 тыс. кв. км), Онежское, Чудское, Ильмень);
- 5) Расстояние до ближайших морей;
- 6) Особенности подстилающей поверхности на территории самого региона.

Летом господствуют северные ветры, зимой – южные и юго-западные. Основные пояса ветров в атмосфере образуются благодаря вращению Земли вокруг своей оси. В Северном полушарии вращение Земли отклоняет устремляющиеся на юг ветры к западу, а направляющиеся на север – к востоку. На территории Северо-Западного региона эти влияния выражены очень ярко в связи с положением в зоне активной деятельности циклонов и частой смены воздушных масс, различных по месту своего формирования, температуре и влажности. В целом циркуляционные процессы можно разделить на зональные и меридиональные.

На Северо-Западном федеральном округе преобладают зональные циркуляционные процессы, то есть зональный перенос масс воздуха с запада на восток. Максимум повторяемости меридиональных процессов, к которым относятся арктические вторжения, приходится на лето, а минимум – на зиму. Итак, в течение всего года из районов Исландии к Баренцеву морю движутся

циклоны. Зимой вхождения теплого и влажного атлантического воздуха сопровождаются потеплениями, снегопадами, а при оттепелях, иногда, и дождем. Летом, когда с запада поступает прохладный воздух, температуры понижаются, увеличивается облачность, выпадают обильные дожди. Западный перенос воздушных масс иногда нарушается вторжением арктического воздуха. Существует два направления арктических вторжений на территорию Северо-Западного федерального округа: с Карского моря на юго-запад и с севера Скандинавии на юго-восток. И в том, и в другом случаях, на рассматриваемую территорию поступают холодные массы воздуха арктического происхождения, но они существенно различаются по своим физическим свойствам. [8]

Приходящий с северо-востока арктический воздух, формируется над льдами, поэтому он значительно холодный и сухой по сравнению с арктическим воздухом, поступающим с северо-запада, проходящим над относительно теплыми водами океана. Вторжения арктического воздуха бывают чаще в летнее время, но сильные понижения температуры воздуха он приносит зимой, особенно во вторую половину и в конце зимы. С приходом арктического воздуха зимой устанавливается морозная погода, а летом прохладная. Продвигаясь в глубь территории, арктический воздух прогревается и обращается в континентальный. Летом с юго-востока, а зимой с востока в пределы Северо-Западного региона поступает континентальный воздух умеренных широт. Зимой он очень холодный и сухой, а летом – сухой и теплый. Распространяясь, он приносит в зимнее время ясную, морозную погоду, летом – сухую и теплую.

Иногда летом с юго-запада морской субтропический воздух распространяется на территорию Северо-Западного региона, теплый и очень влажный. Он охватывает преимущественно юго-западные регионы. С появлением этого воздуха выпадают сильные дожди, а затем, на короткое время, наступает ясная, теплая или даже жаркая погода. Еще реже и только летом из Средней Азии и других юго-восточных регионов постоянно жарко и сухо

тропический воздух. Вскоре это приносит очень теплую, сухую, безветренную погоду.

Огромные массы теплого воздуха, исходящего из Атлантики и влияния теплого Гольфстрима, вызывают положительную аномалию температуры, характерную для этого региона (средняя температура воздуха здесь выше, чем у этих широт). Влияние Атлантики ослабевает в направлении с запада на восток, и континентальность климата растет в этом направлении. (определяется как разница между среднемесячными температурами воздуха в самые теплые и самые холодные месяцы года). [8]

Влияние Атлантического океана проявляется в влажности воздуха, которая вместе с циклонической активностью обеспечивает осаждение значительного количества осадков. В Северо-Западном регионе годовые количества осадков превышают 600 мм.

Характер подстилающей поверхности оказывает огромное влияние на распределение осадков. Таким образом, на склонах возвышенностей, благоприятно расположенных на проходящих фронтах, осадки выпадают значительно больше, чем на прилегающих равнинах.

Дожди и снегопады происходят до 160-200 дней в году. В целом преобладает сложный, морозящий дождь. Большинство осадков выпадает осенью и зимой, хотя большинство из них происходит в теплое время года.

Для количества осадков невозможно судить, сухой или влажный климат. Отношения между волатильностью и осадками дают представление об этом. Так, в Северо-Западном регионе годовые количества осадков превышают возможное испарение на 200 мм. Согласно индексу увлажнения (величина отношения осадков к испаряемости), вся территория Северо-Западного региона входит в зону чрезмерного увлажнения. Частые изменения в воздушных массах, а также циклонах вызывают нестабильную погоду, характерную для региона. Ветры

здесь также изменяемы. Летом преобладают северные ветры, зимой - южные и юго-западные. [8]

Зима – это время года с суточной температурой воздуха ниже -5° , со стабильным снежным покровом. Зимний сезон начинается в первой половине декабря и заканчивается в марте.

Зима на юго-западе региона мягкая, с оттепелями, облачная, реже морозная, на северо-востоке - с сильными ветрами и частыми метелями. Зимой потепление Атлантического океана проявляется в появлении оттепелей. Оттаивание происходит каждую зиму почти во всем регионе. В периоды интенсивной циклонической активности возможны температуры воздуха выше 0° С.

Наиболее интенсивные и продолжительные оттепели обычно сопровождаются большой облачностью и осадками в любой из зимних месяцев, а при длительных оттепелях на полях выпадает снежный покров. Зимние осадки выпадают в основном в виде снега. В конце ноября – в первой половине декабря снежный покров становится стабильным.

На распределение снежного покрова и его толщины сильно влияет ветер, сдувающий снег с открытых площадок и откладывая сугробов в защищенных местах. Повторяемость метелей в значительной степени обусловлена тепловыми и ветровыми условиями. Метели встречаются с ветрами любого направления, но чаще с юга и юго-запада. В связи с этим наибольшее скопление снега происходит на западных и южных склонах. Нашествие арктических воздушных масс обычно сопровождается ветрами и метелями. Высота снежного покрова начинает заметно возрастать с января и достигает наивысшего значения в конце февраля.

Из-за частых оттепелей снег сгущается и оседает, его максимальная мощность зимой не достигает полуметра. Наибольшая высота снежного покрова наблюдается в Печорской долине: среднее значение наибольших десятилетних

значений превышает 80 см. Снежный покров в Северо-Западном регионе составляет в среднем 100 дней.

Из-за значительной толщины снежного покрова земля замерзает не глубоко и не сильно, температуры мерзлых грунтов обычно немного ниже 0 °, глубина 40-60 см.

Весна, в отличие от зимы, начинается, прежде всего, на юго-западе, а затем и на северо-востоке. Устойчивый переход суточной температуры воздуха до -5°C происходит в Псковской области в первой половине марта, в Ленинградской и Новгородской областях в середине марта. Переход суточной температуры воздуха на 0 ° С происходит в конце марта - начале апреля. Следовательно, холодная фаза весны длится почти месяц, то есть начало весны имеет затяжной характер. Это естественно для Северо-Западного региона, поскольку в это время атлантический воздух становится холоднее, чем подстилающая поверхность, и приход тепла с Атлантической стороны прекращается.

Весной уменьшается облачность, день становится длиннее, солнце поднимается выше, оно светит ярче. При нагревании поверхностного воздуха в течение дня выше 0 ° есть оттепели, а ночью - заморозки, и снег замерзает, на нем образуется ледяная корочка.

Поступление арктического воздуха растёт, главным образом, в мае. Поэтому существует возможность возврата холодов, когда вероятны заморозки. В мае они достигают -2 °, -4 °. При возвращении заморозков возможны снегопады.

Время таяния снежного покрова определяет время оттаивания почвы и, следовательно, его готовность к обработке. Почва полностью оттаивает к концу апреля.

Лето – часть года, у которой положительная минимальная температура воздуха начинается во второй половине мая и заканчивается в сентябре.

Прогрев происходит во второй половине июня - начале июля, когда средняя дневная температура поднимается выше + 15 °.

Теплый воздух поступает на территорию Северо-Западного федерального округа с юго-востока, юга и юго-запада. Возникновение теплого воздуха с юга иногда увеличивает температуру до +30 °. Напротив, поток арктического воздуха значительно снижает температуру (до -2°). Высоким влагосодержанием и большой неустойчивостью обладают воздушные массы, поступающие обычно с юго-запада.

Основная часть летних осадков выпадает в виде ливней. Существует вероятность заболачивания почв. Заморозки возможны в июне и августе.

Осень начинается в середине сентября. На территории между озерами Ладожское, Ильмень и Чудское осень приходит во второй половине сентября. Последнее связано с тем, что осенью особенно отчетливо проявляется обогревающее влияние водоемов на побережья.

Почти одновременно с наступлением мороза суточная температура воздуха становится ниже 10°. Задолго до заморозков листья растений обесцвечиваются и опадают. В сентябре лес постепенно оголяется. В первой половине сентября днем воздух нагревается до 10°. В периоды выноса масс теплого воздуха в течение нескольких дней устанавливается сухая, ясная и теплая погода.

Во второй половине сентября погода становится прохладной, ветреной, облачной и дождливой. Облака заметно увеличиваются, интенсивность осадков уменьшается, и их продолжительность резко возрастает. Летние проливные дожди заменяются затяжными моросьями. Ветры растут и приобретают устойчивое направление. Их наибольшие скорости наблюдаются в октябре и ноябре.

В большинстве районов Северо-Запада температура воздуха в первой половине октября ниже 5°.

Арктические вторжения воздушных масс встречаются реже, но воздух в Арктике становится все холоднее и холоднее. В первой половине ноября суточные температуры воздуха становятся ниже 0. В глубокую осень, до первого снега, дни быстро сокращаются, облачность увеличивается еще больше, чаще бывает дождливая погода. Переохлаждённые дожди заменяются снегопадами, а до начала зимы, в период «до зимы», снежный покров появляется и снова исчезает.

Таким образом, отличительной особенностью климата региона является то, что зима здесь умеренно холодная – умеренно мягкая, а лето умеренно теплое; В течении года выпадает большое количество осадков (более 600 мм), а годовое количество осадков на 200 мм выше, чем испарение, поэтому площадь относится к зоне чрезмерной влажности. [8]

2.2 Годовой ход

Над территорией Северо-Западного региона преобладает прямой годовой ход скорости ветра с максимумом в осенние месяцы (сентябрь, октябрь). Минимум скорости ветра наблюдается в летние месяцы (июнь-июль). Показателем годового хода средней скорости ветра является его амплитуда, равная разности между максимумом и минимумом среднесуточной скорости. Годовая амплитуда скорости ветра на территории региона составляет в среднем около 2-4 м/с.

Среднегодовая скорость ветра для ландшафтов, подобных аэропорту (тип растительности – грубая плоская трава) составляет на высоте:

- 10 метров – 2,93 м/сек;

- 50 метров – 3,71 м/сек;
- 100 метров – 4,11 м/сек;
- 150 метров – 4,37 м/сек;
- 300 метров – 4,85 м/сек.

Максимум скорости ветра наблюдается в октябре и минимум в июле.

Наибольшую среднегодовую скорость на высоте 100 метров ветер достигает над подстилающей поверхностью следующего характера:

- 5,14 м/сек – 35-метровые широколиственные вечнозеленые леса (70% покрытия);
- 5,02 м/сек – 20-метровые широколиственные и хвойные леса (75% покрытия);
- 4,93 м/сек – 18 метровые широколиственные леса (30% покрытия) и растительность.

Минимальную среднегодовую скорость на высоте 100 метров ветер имеет над подстилающей поверхностью типа:

- 3,97 м/сек – открытая водная поверхность;
- 4,08 м/сек – гладкая поверхность моря;
- 4,11 м/сек – грубая плоская трава.

Таким образом, в Северо-Западном регионе наблюдается годовой ход с преобладанием осеннего максимума. Максимальные скорости ветра приходятся на территории, граничащие с северным побережьем. Эти территории являются наиболее ветренными районами региона. Именно с ветром связана большая часть атмосферных явления.

2.3 Суточный ход

Исследование статистических данных суточных изменений скорости ветра показало, что над территорией Северо-Западного региона России на высоте 50 м от поверхности земли имеет место прямой суточный ход скоростей ветра с усилением в дневное время суток и с ослаблением в ночное.

При развитии конвекции в первую половину дня вертикальное перемешивание между приземным слоем и вышележащими слоями воздуха усиливается, а во второй половине дня и ночью оно ослабевает. Усиленное дневное перемешивание приводит к выравниванию скоростей ветра между приземным слоем и вышележащей частью слоя трения. Воздух сверху, обладающий большими скоростями, в процессе обмена переносится вниз, в результате чего общая скорость ветра внизу днем возрастает. В то же время приземный воздух, замедленный трением, перемещается вверх, вследствие чего в верхней части слоя трения происходит уменьшение скорости. Ночью при ослабленном вертикальном перемешивании скорость ветра внизу будет меньше, чем днем, а вверху больше.

Летом максимальная скорость ветра наблюдается в период с 19:30 до 22:30 часов, а минимальная скорость – с 4:30 до 7:30 часов. Зимой максимальные скорости ветра находятся в диапазоне – 16:30-19:30 часов, а минимальные 7:30-10:30 часов.

Суточные амплитуды над территорией Северо-Западного региона составляют 3-5 м/сек. Суточные колебания скорости ветра особенно заметны в летнее время над сушей. Над поверхностью озер и морей, температура которой в течение суток изменяется незначительно, колебания скорости ветра небольшие, но по мере приближения к берегам они увеличиваются. Ясно проявляемый суточный ход ветра наблюдается при установившейся антициклональной погоде, особенно летом, когда суточные колебания

температуры хорошо выражены. В период циклонической деятельности суточный ход часто искажается непериодическими изменениями ветра.

Возрастание скорости в дневные часы в приземном слое над сушей сопровождается вращением ветра вправо, по часовой стрелке, убывание скорости в ночные часы – вращением влево. В верхней части слоя трения происходит обратное: левое вращение при усилении скорости и правое – при ослаблении.

3. Силы влияющие на ветер

3.1 Сила градиента давления

Ветер возникает под действием силы градиента давления (барического градиента). Это означает, что если в некоторой области образуется избыток воздушной массы (высокое давление), то должен произойти отток его в область с недостатком воздуха (низкого давления). Этот отток тем сильнее, чем больше разность давления.

Чтобы выразить силу градиента давления, действующего на единицу массы, следует величину градиента давления разделить на плотность воздуха. Тогда числовое значение силы барического градиента (Γ) определится выражением:

$$\Gamma = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n},$$

где ρ – плотность воздуха, dp/dn – градиент давления.

Таким образом, основной движущей силой возникновения движения воздуха является барический градиент. Если бы на воздушные частицы действовала только сила барического градиента, то движение их совершалось бы всегда в направлении этого градиента, подобно стоку воды от более высокого уровня к низкому. В действительности этого не происходит.

При крупномасштабных процессах к термической первопричине возникновения воздушных течений присоединяется действие целого ряда других факторов, которые значительно усложняют атмосферную циркуляцию. Поэтому как муссонная, так и междуширотная циркуляция, обусловленная действиями ряда сил и вихревой природой атмосферной циркуляции, осуществляется несравненно сложнее.

3.2 Сила Кориолиса

Возникновение этой силы связано с вращением Земли вокруг своей оси. Под действием силы Кориолиса ветер дует не вдоль градиента давления, т. е. от высокого давления к низкому, а отклоняясь от него в северном полушарии вправо, в южном полушарии — влево. Следует заметить, что сила, заставляющая предмет отклоняться, не действительная, а инерционная, т. е. имеет как бы мнимый характер. Это значит, что она не приложена к телу извне и появляется лишь тогда, когда тело начинает двигаться под действием других сил. Видимое отклонение тела от прямолинейного направления движения зависит от широты места и от скорости движения. Если бы не было силы Кориолиса, предметы двигались бы по земной поверхности прямолинейно. Действие силы Кориолиса можно заметить также в поведении морских течений. Схема изменения направления ветра под действием отклоняющей силы вращения Земли и возникновения геострофического ветра представлена на рисунке 3.1.

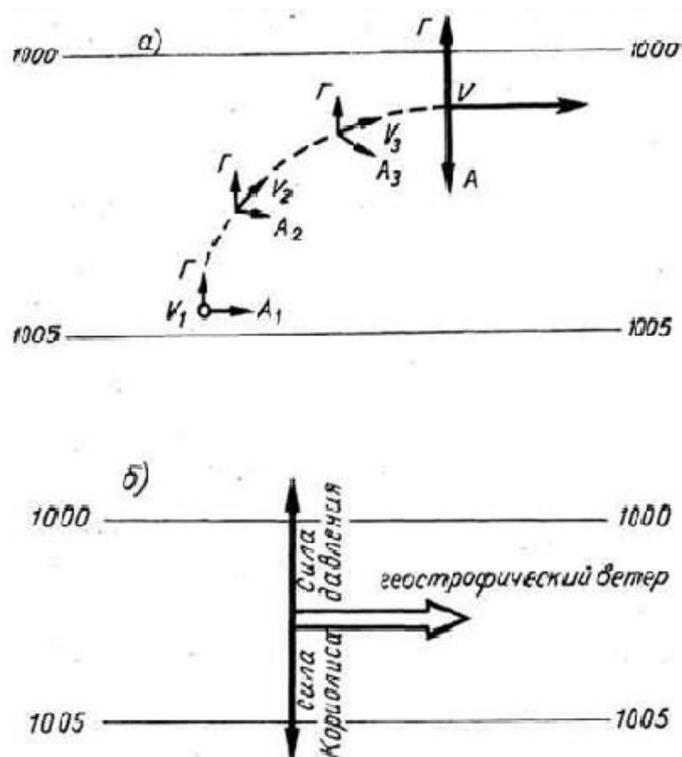


Рисунок 3.1 – Схема изменения направления ветра под действием отклоняющей силы вращения Земли (а) и возникновения геострофического ветра (б)

3.3 Геострофический ветер

Прямолинейное и равномерное движение без трения - геострофический ветер. Однако, такое движение можно допустить лишь теоретически. При геострофическом ветре предполагается, что, кроме силы градиента, на воздух действует только отклоняющая сила вращения Земли. Когда движение равномерное, то обе эти силы, действуя в противоположные стороны, уравниваются и геострофический ветер направляется вдоль изобар. При этом низкое давление находится в северном полушарии слева, а в южном полушарии — справа. При равновесии сил градиента давления и отклоняющей силы вращения Земли их сумма будет равна нулю. Это выражается следующим соотношением:

$$-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} + 2\omega \sin \varphi V_G = 0,$$

откуда получим, что скорость геострофического ветра

$$V_G = \frac{1}{2\rho\omega \sin \varphi} \cdot \frac{\partial p}{\partial n}.$$

Отсюда следует, что скорость геострофического ветра прямо пропорциональна величине горизонтального градиента давления. Следовательно, чем гуще изобары на картах давления, тем сильнее ветер. Хотя в действительных условиях атмосферы чисто геострофический ветер почти не наблюдается, однако наблюдения показывают, что на высоте около 1 км и выше движение воздуха происходит приблизительно вдоль изобар, с небольшими отклонениями, вызванными другими причинами. Поэтому в практической работе вместо фактического ветра пользуются и геострофическим ветром. Кроме силы градиента давления и силы Кориолиса, на движение воздуха действуют сила трения и центробежная сила.

3.4 Сила трения

Сила трения направлена всегда в сторону, противоположную движению, и пропорциональна скорости. Она, уменьшая скорость воздушных потоков, отклоняет их влево от изобар, и движение происходит не вдоль изобар, а под некоторым углом к ним, от высокого давления к низкому. Посредством турбулентного перемешивания воздуха влияние трения передается в вышележащие слои, приблизительно до 1 км над поверхностью земли.

Влияние трения на направление и скорость движения воздуха изображено на схеме (рисунок 3.2, а). На схеме представлено поле давления и движение воздуха под действием силы градиента давления, отклоняющей силы вращения Земли и трения. Под действием силы Кориолиса движение воздуха происходит не вдоль градиента давления Γ , а под прямым углом к нему, т. е. вдоль изобар. Действительный ветер изображен стрелкой B , сила трения T отклонена от направления ветра несколько в сторону. Сила Кориолиса показана под прямым углом к действительному ветру стрелкой K . Как видим, угол между действительным ветром B и силой трения T составляет больше 90° , а угол между действительным ветром B и силой градиента давления Γ меньше 90° . Так как сила градиента перпендикулярна изобарам, то действительный ветер оказывается отклоненным влево от изобар. Величина угла, составляемого изобарой и направлением действительного ветра, зависит от степени шероховатости земной поверхности. Отклонение происходит влево от изобар обычно под углом $20\text{—}30^\circ$. Над сушей трение больше, чем над морем, у поверхности земли влияние трения наибольшее, а с высотой оно уменьшается. На высоте около 1 км действие силы трения почти прекращается.

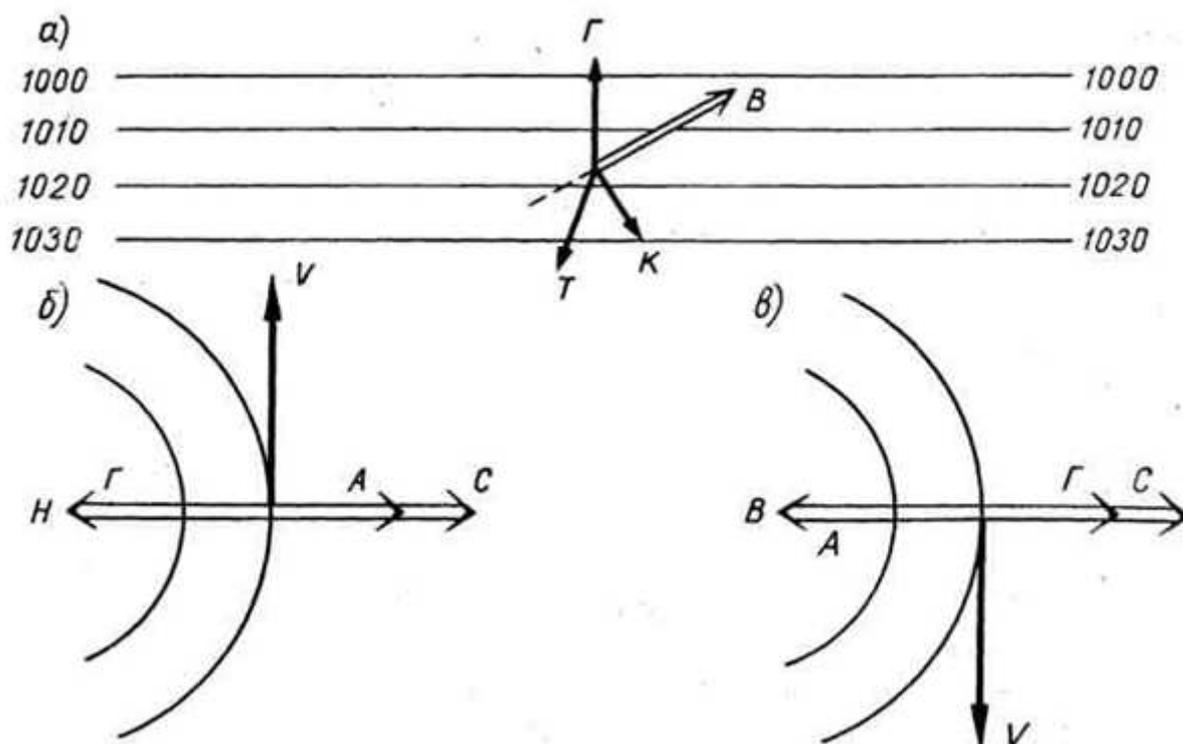


Рисунок 3.2 – Силы, действующие на движение воздуха в случае прямолинейный изобар (а), криволинейных изобар в циклоне (б), криволинейных изобар в антициклоне (в).

3.5 Центробежная сила

Если изобары криволинейные, то на движение воздуха оказывает действие центробежная сила. Это сила инерции, которая направлена от центра к периферии по радиусу кривизны траектории движения воздуха. Под действием центробежной силы (в случае отсутствия трения) движение происходит по изобарам. При наличии же трения ветер дует под углом к изобарам в сторону низкого давления. Величина центробежной силы определяется из равенства

$$C = \frac{V^2}{r},$$

где V — скорость движения воздуха (скорость ветра), r — радиус кривизны его траектории.

Если принять, что движение воздуха происходит по окружности, то скорость его в любой точке траектории будет направлена по касательной к окружности (рисунок 3.2, б и в). Как следует из этой схемы, сила Кориолиса (А) направлена (в северном полушарии) под прямым углом по радиусу вправо от скорости ветра (V). Центробежная сила (С) направлена от центра циклона и антициклона к их периферии, а сила градиента (Г) уравнивает геометрическую сумму первых двух сил и лежит на радиусе окружности. Все три силы в этом случае связаны уравнением

$$\frac{V^2}{r} + 2\omega \sin \varphi V = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n},$$

где r — радиус кривизны изобар. Из этого уравнения следует, что ветер направлен перпендикулярно градиенту давления. Это частный случай ветра при круговых изобарах в системе циклона. Такой ветер называется градиентным.

В северном полушарии в системе циклона (см. рисунок 3.2, б) сила барического градиента направлена к его центру, а силы центробежная и Кориолиса, уравнивающие ее, — в противоположную сторону. В случае антициклона (см. рисунок 3.2, в) сила Кориолиса направлена к центру его, а центробежная сила и сила барического градиента — в противоположном направлении и уравнивают первую.

Уравнение градиентного ветра в случае антициклона имеет следующий вид:

$$-\frac{V^2}{r} + 2\omega \sin \varphi V = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}.$$

В южном полушарии, где отклоняющая сила вращения Земли направлена влево от скорости движения воздуха, градиентный ветер отклоняется от градиента давления влево. Поэтому в южном полушарии ветер в циклоне направлен по часовой стрелке, а в антициклоне — против часовой стрелки.

Вне действия силы трения, т. е. выше 1 км, ветер по направлению и скорости приближается к градиентному. Разница между действительным и градиентным ветром обычно невелика. Однако эти небольшие отклонения действительного ветра от градиентного играют важную роль в изменении атмосферного давления.

Давление воздуха определяется его массой в столбе атмосферы сечением, равным единице площади. При неравномерном движении воздуха вследствие изменения его термических свойств и действующих сил происходит уменьшение или увеличение массы воздуха в столбе, а соответственно понижение или повышение атмосферного давления. Главным фактором в изменении поля давления (барического поля) является отклонение действительного ветра от градиентного (на высотах). Когда направление и скорость действительного ветра соответствуют градиентному, происходит увеличение или уменьшение массы воздуха и изменение давления и могут возникать и развиваться атмосферные вихри — циклоны и антициклоны (см. рисунок 3.3.).

Отклонения ветра существенны в областях сходимости воздушных потоков в тропосфере и при большой кривизне потоков движущегося воздуха.

3.6 Поле давления

Структура поля давления, или барического поля атмосферы, довольно разнообразна. Во внетропических широтах у поверхности земли и на высотах всегда можно обнаружить большие или относительно малые по размерам циклоны и антициклоны, ложбины, гребни, седловины.

Циклоны – это крупнейшие атмосферные вихри, с низким давлением в центре. Движение воздуха в их системе в северном полушарии происходит против часовой стрелки. Антициклоны — вихри с высоким давлением в центре. Движение воздуха в их системе в северном полушарии происходит по часовой стрелке.

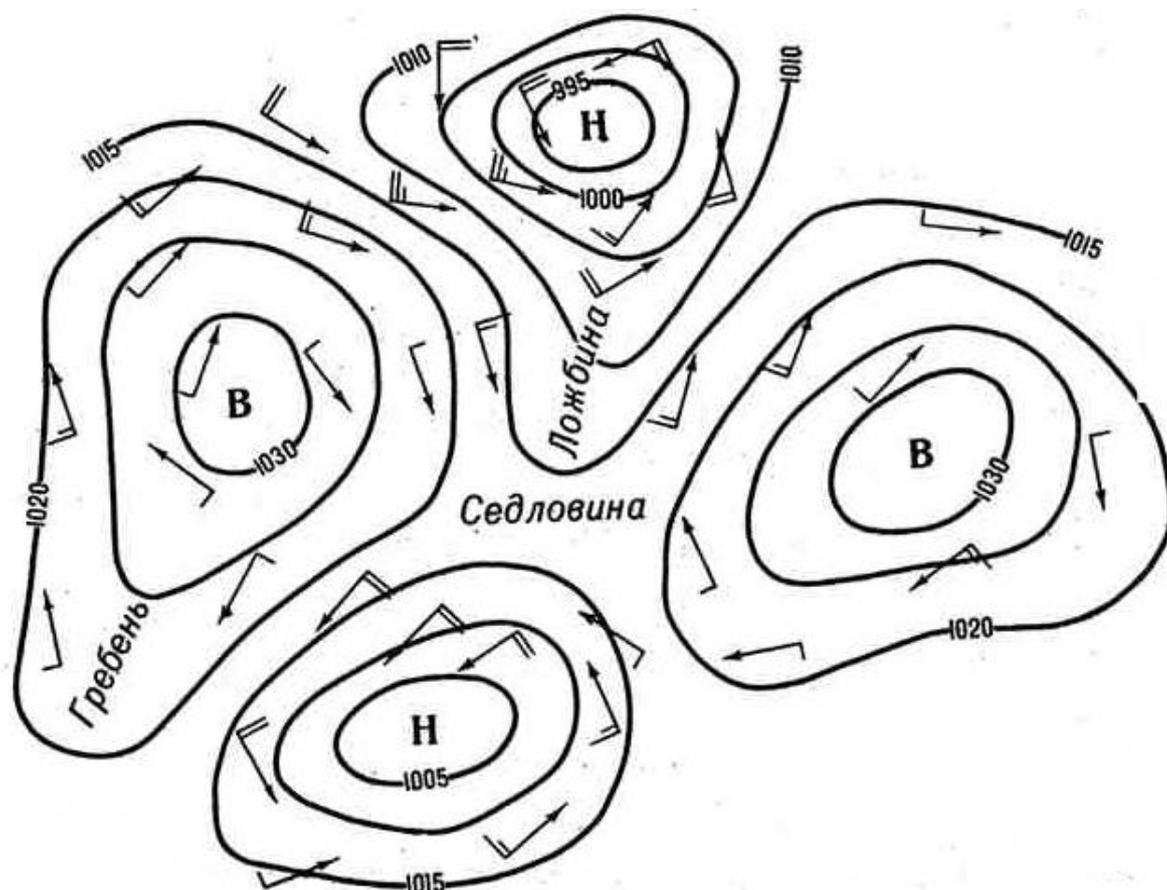


Рисунок 3.3 – Формы барического поля и система ветра у поверхности земли.

В южном полушарии в обеих системах циркуляция воздуха обратная, т. е. ветры в циклоне дуют по часовой стрелке, а в антициклоне — против часовой стрелки. Гребень — это вытянутая от центральной части антициклона область высокого давления с антициклонической системой циркуляции. Ложбина — это вытянутая от центральной части циклона область низкого давления с циклонической системой циркуляции. Седловина — это форма барического рельефа между двумя циклонами и двумя антициклонами, расположенными крест-накрест.

На рисунке 3.3 изображено поле давления у поверхности земли с системой ветров. Кроме двух циклонов и двух антициклонов, здесь представлены ложбины, гребни и седловина. Направление ветра показано стрелками, скорость — оперением. Чем больше расстояние между изобарами, тем меньше скорость ветра и меньше оперение. Такое изображение изобар и ветра принято на картах погоды.

Структура поля давления на земном шаре многообразна и сложна. Поэтому режим воздушных течений различен зимой и летом, у поверхности земли и на высотах, над материками и над океанами, не говоря уже о большой его изменчивости в средних и высоких широтах ото дня ко дню. Обычно средние месячные карты давления и ветра отображают лишь преобладающий перенос воздушных масс в течение месяца и скрывают многие интересные особенности атмосферных процессов, которые обнаруживаются на ежедневных картах погоды. [9]

4. Многофакторная статистическая модель связи ветра на ВПП аэропорта «Пулково» с барическими и термическими градиентами

4.1 Географическое положение

Округ располагается на севере Восточно-Европейской (Русской) равнины и имеет выгодное географическое положение, обладая выходами к морям – Баренцеву, Белому, Печорскому, а также Балтийскому. Последний стал практически единственным непосредственным выходом России в крупнейшую (северо-атлантическую) мирохозяйственную зону. На западе Северо-Западный округ граничит с Норвегией, Финляндией, странами Балтии и Польшей, на юго-западе - с Белоруссией, на юге – с Центральным федеральным округом, на юго-востоке – с Поволжским федеральным округом, на востоке – с Уральским федеральным округом. Крайние точки Северо-Западного федерального округа лежат: на севере под $81^{\circ} 50'$ с. ш. (на о. Рудольфа в архипелаге Земля Франца-Иосифа). На континенте самая северная точка – мыс Немецкий, на полуострове Рыбачий – $69^{\circ} 57'$ с. ш.; на юге под $55^{\circ} 40'$ с. ш. (Невельская возвышенность на юге Псковской области); на западе под $19^{\circ} 38'$ в. д. (Песчаная коса в Гданьском заливе Балтийского моря); на востоке под $69^{\circ} 12'$ в. д. (мыс Флиссинский – северо-восточная оконечность северного острова Новой Земли). На континенте самая восточная точка – верховье р. Кары – $69^{\circ} 50'$. [8]

Зона воздушного движения аэропорта «Пулково» расположена вблизи от Невской губы Финского залива (на расстоянии около 10 км) и Пулковских высот (Пулковские высоты — цепь холмов, расположенных к югу от Санкт-Петербурга и тянущихся на юго-запад в направлении Ижорской возвышенности.). Рельеф местности представлен на рисунке 4.1.

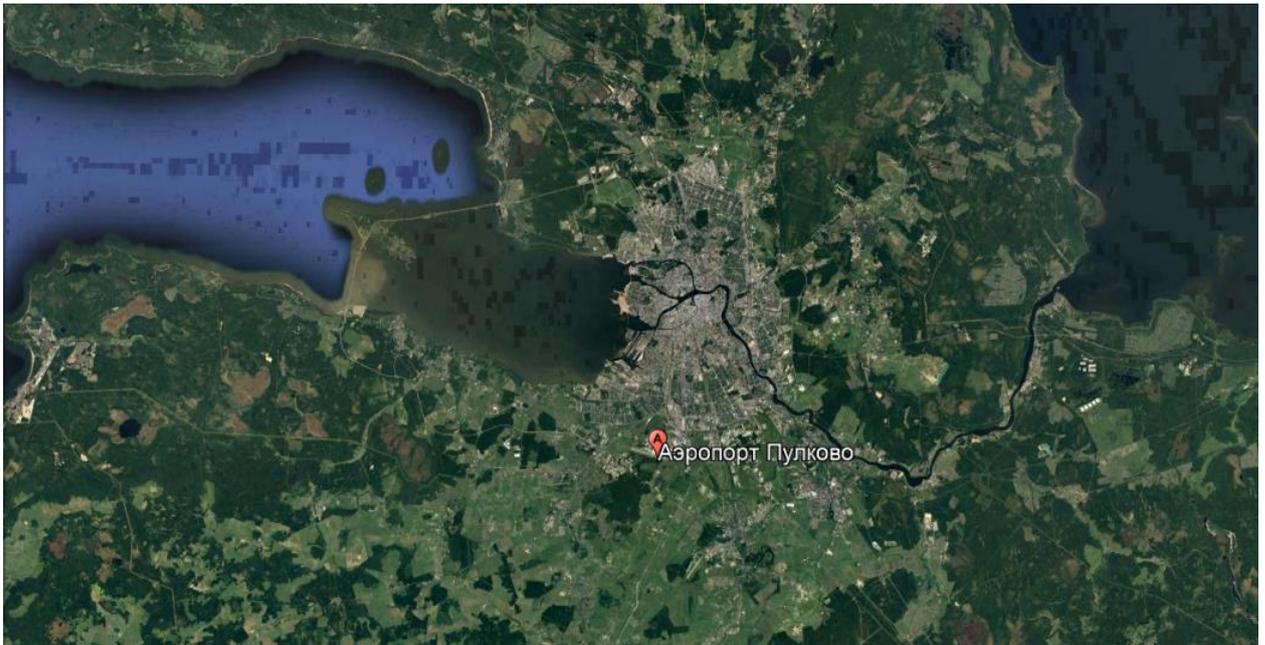


Рисунок 4.1 – Рельеф местности, расположение аэропорта «Пулково»

4.2 Исходные данные и методы их обработки

Для того чтобы сформировать базу данных, был использован архив синоптических карт программы ОСКАР. Чтобы получить термический градиент, нужно было с карт АТ-850 за сроки 00 и 12 часов по UTS в области наиболее близкой к Пулково измерить расстояние между изотермами и сделать пересчет на 100 км, за период 01.2007 – 03.2012. А также, измерить направление градиента от высокой температуры к низкой, отсчитывая от северного направления, с помощью транспортира.

Аналогично был получен барический градиент, только вместо карт АТ-850, использовались приземные.

В качестве исходных данных были использованы данные о ветре, полученные, непосредственно, с ВПП «Пулково», за каждые пол часа в период 01.2007 – 03.2012.

К барическому и термическому градиенту были добавлены данные о ветре с аэропорта «Пулково» только за сроки равные 00 и 12 часам, так как термический градиент снимали с карт АТ-850, а они выпускаются только два раза в сутки – за 00 и 12 часов по UTS.

4.3 Структурирование архива

После того как были сняты градиенты с синоптических карт, был сформирован общий архив, состоящий из: года, месяца, дня, срока, термического градиента, барического градиента, направления термического градиента, термического ветра, направления фактического ветра, скорость фактического ветра и порывы. Общее число наблюдений – 2998.

4.4 Расчет градиентного ветра

Чтобы рассчитать градиентный ветер была использована формула

$v_g = \frac{1}{\rho l} \cdot \frac{\partial P}{\partial n}$, для этого в формулу подставим все известные постоянные величины: плотность воздуха $\rho=1,27$ кг/м³, параметр Кориолиса $l = 2\omega \sin \varphi$, угловую скорость вращения Земли $\omega = 7,3 \cdot 10^{-5} \cdot \text{с}^{-1}$. Далее упростим эту формулу, получим: $v_g = \frac{5.4}{\sin \varphi} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta n} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$, где φ – широта места ($59^{\circ}48'$), $\Delta p/\Delta n$ – барический градиент, пересчитанный на 100 км. [10]

Далее с помощью EXCEL построили диаграмму рассеивания для связи фактического ветра с градиентным по данным 01.2007-03.2012. Были получены уравнения тренда и коэффициентов достоверности аппроксимации между их

полными рядами (для средней скорости и порывов отдельно). Полученный результат вместе с диаграммой рассеивания представлен на рисунке 4.2.

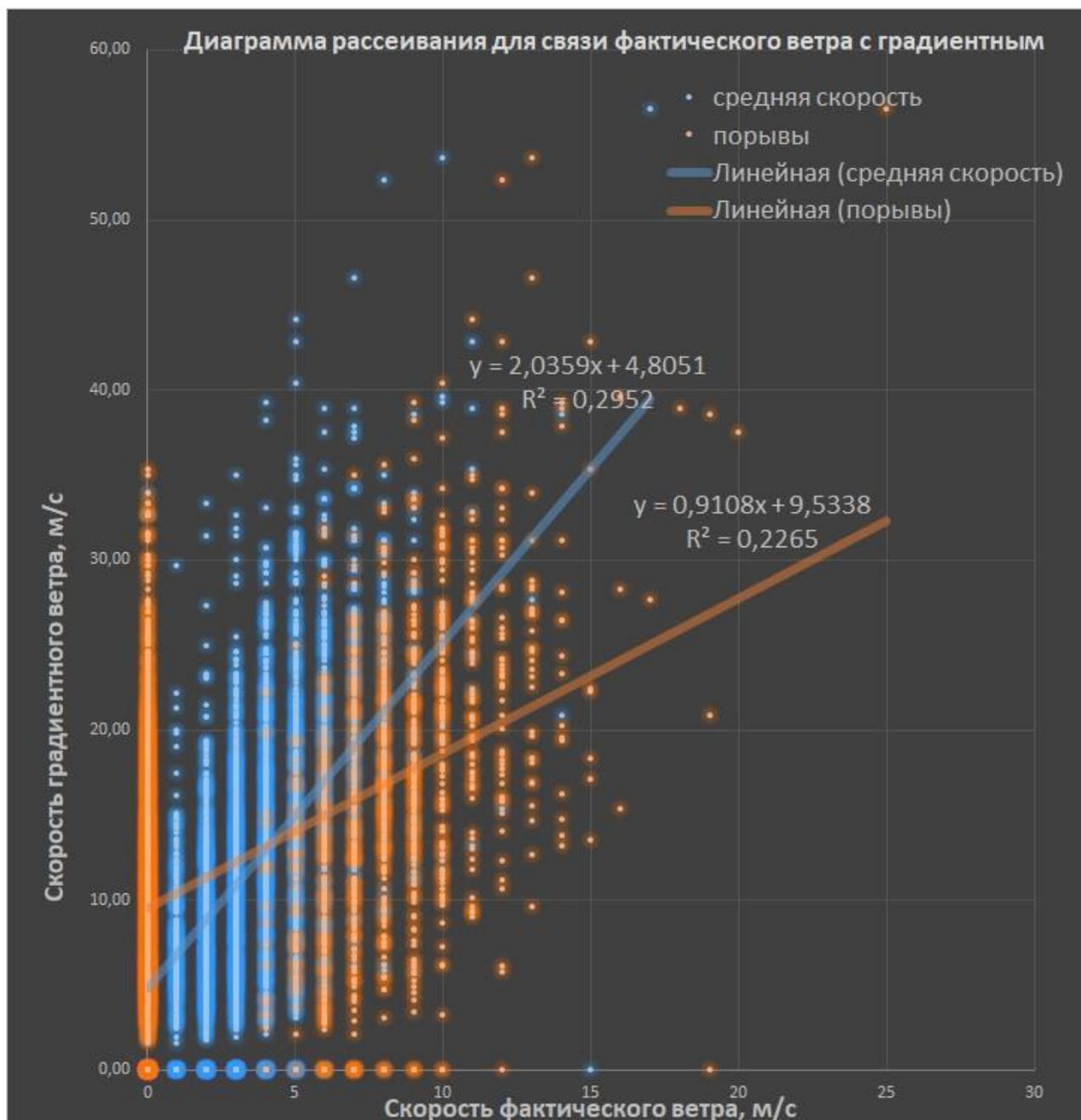


Рисунок 4.2 – Диаграмма рассеивания для связи фактического ветра с градиентным по данным 01.2007-03.2012.

На диаграмме рассеивания отражена эллиптическая форма облаков точек, при этом разброс точек от линии тренда существенен, что подтверждают и значения соответствующих коэффициентов достоверности аппроксимации. Это

может быть обусловлено как неоднородностью выборок, так и влиянием на режим ветра других факторов.

4.5 Статистические модели связи приземного ветра в аэропорту «Пулково» с барическим градиентом

Для обеспечения сезонной, суточной, годовой и орографической однородностей выборок, используемых для формирования статистических моделей, они были разделены по основным и промежуточным румбам направлений фактического ветра, по месяцам года и полусуткам. В результате получено 16 выборок. Для каждой из них построены диаграммы рассеивания, которые имеют вид, изображенный на рисунке 4.3. На них представлены также функции линий тренда и коэффициентов достоверности аппроксимации между средней скоростью фактического ветра и ветра градиентного и, кроме того, аналогичные функции для скорости фактического ветра при порывах.



Рисунок 4.3 – Диаграмма рассеивания для связи фактического ветра с градиентным для юго-западного ветра в ноябре ночью по данным 01.2007-03.2012.

В приведенном примере коэффициенты достоверности аппроксимации превышают значения, полученные для неструктурированной исходной выборки. Для анализа причин отсутствия заметного повышения тесноты связи с увеличением однородности выборок были сформированы графические отображения зависимости числа случаев от направлений и составлены таблицы, увязывающие значения коэффициента корреляции для каждой точки относительно румба. Они представлены на рисунке 4.4 и в таблице 4.1.



Рисунок 4.4 – Лепестковая диаграмма количества случаев по направлениям ветра в ноябре ночью (по данным 01.2007-03.2012гг.)

Таблица 4.1 — Значения коэффициента достоверности аппроксимации для каждого румба в ноябре ночью (по данным 01.2007-03.2012)

| Румб | V_{cp} | $V_{порыв}$ |
|------|---|---|
| С | $y = -0,2631x + 5,4235$ $R^2 = 0,0063$ | $y = 0,4148x + 5,125$ $R^2 = 0,0186$ |

Продолжение таблицы 4.1

| | | |
|----|--|--|
| СВ | $y = 3,2735x + 3,6374$ $R^2 = 0,2299$ | $y = 1,7657x + 9,1658$ $R^2 = 0,6688$ |
| В | $y = 5,8578x - 9,2045$ $R^2 = 0,8442$ | $y = 2,7309x + 11,386$ $R^2 = 0,7061$ |
| ЮВ | $y = 2,6994x + 7,0855$ $R^2 = 0,41$ | $y = 1,0095x + 16,947$ $R^2 = 0,3052$ |
| Ю | $y = 2,3929x + 8,4357$ $R^2 = 0,2506$ | $y = 0,8238x + 16,204$ $R^2 = 0,1743$ |
| ЮЗ | $y = 2,185x + 7,2755$ $R^2 = 0,3649$ | $y = 0,9229x + 12,561$ $R^2 = 0,3834$ |
| З | $y = 2,1658x + 0,8503$ $R^2 = 0,5112$ | $y = 1,0133x + 7,6659$ $R^2 = 0,408$ |
| СЗ | $y = 1,3826x + 7,1641$ $R^2 = 0,5526$ | $y = 0,3951x + 10,996$ $R^2 = 0,637$ |

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что прямая зависимость коэффициента достоверности аппроксимации и количества случаев отсутствует.

При этом коэффициенты достоверности аппроксимации положительны, не зависимо от объема выборки, что указывает на однозначный характер связи и ее физическую обусловленность. При достаточном объеме выборки (60-62 случая) диапазон полученных коэффициентов аппроксимации составляет от 0.46 и до

0.59. При меньшем числе случаев он колеблется в достаточно более широких пределах – от 0, 006 до 1, что указывает на существенное влияние в таких условиях элемента случайности тесноты связи, полученной на недостаточно представительной выборке.

В целом можно сказать, что теснота связи коэффициента достоверности аппроксимации от 0,4 до 0,6, не достаточна для применения полученных статистических моделей в целях метеорологического обеспечения полетов. Полученные оценки тесноты связи указывают на недостаточность использования в статистической модели градиентного ветра в качестве единственного предиктора.

В дальнейшем необходимо увеличить число предикторов, характеризующих вклад и других факторов, влияющих на локальные параметры ветра.

4.6 Дополнительный учет влияния горизонтального контраста температур

Для достижения более точного результата к полученным данным градиентного ветра добавили за тот же период снятые с карт АТ-850 значения термического градиента, отображенные на автоматизированном рабочем месте синоптика Weather (НПК ОСКАР) и провели структурирование полученных данных:

1. по месяцам года;
2. по данным наблюдений, соответствующих срокам 12 дня и 00 часов ночи;
3. распределили исходные данные направлений фактического ветра по румбам (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ);
4. разложили термический градиент по отношению к фактическому ветру и рассчитали параллельные и перпендикулярные компоненты;

5. получили в программе EXCEL уравнения множественной регрессии и коэффициента достоверности аппроксимации, для расчета фактического ветра, и сравнения его с данными из аэропорта «Пулково».

После сортировки данных по месяцам, срокам и направлениям ветра, мы разложили термический градиент по отношению к фактическому ветру на ортогонально составляющие векторы p и d . За p мы взяли проекцию на ось OX , за d проекцию на ось OY . Пример одного из полученных результатов представлен на рисунке 4.5.

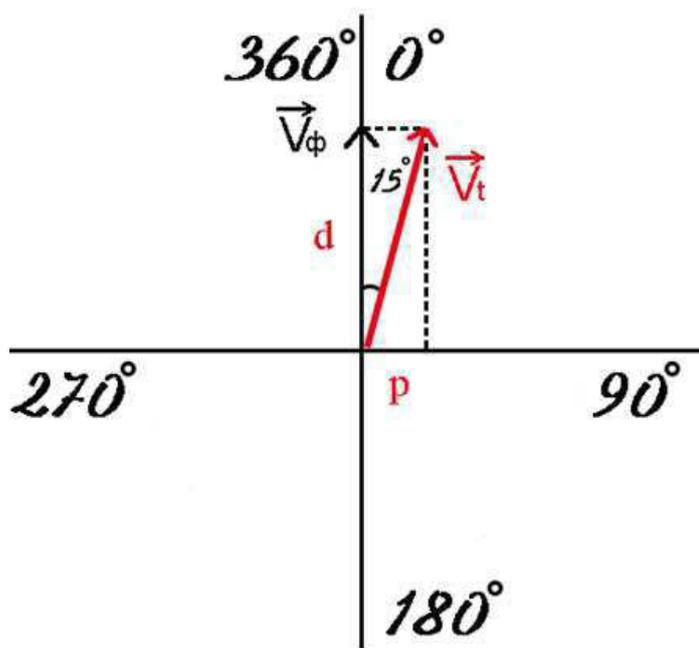


Рисунок 4.5 – Отображение проекции термического ветра относительно фактического ветра на оси координат

Произвели расчёт по формулам (1 и 2):

$$p = G_t * \sin \beta \quad (1)$$

где, G_t – термический градиент;

$\sin \beta$ – синус разницы углов между фактическим и термическим ветром, взятый по модулю.

$$d = G_t * \cos \beta \quad (2)$$

где, G_t – термический градиент;

$\cos \beta$ – косинус разницы углов между фактическим и термическим ветром, взятый по модулю.

Знаки p и d , мы определили из четвертей тригонометрического круга.

В программе EXCEL подставили значения полученного фактического ветра из аэропорта «Пулково», снятые с синоптических карт значения барического и термического градиентов, посчитанные нами значения векторов p и d в уравнения множественной регрессии, имеющие вид по формуле (3):

$$V_{\phi} = a * G_b + b * p + c * d + C \quad (3)$$

где, $a \cdot G_b$ – барический градиент умноженный на расчетный коэффициент a ;

$b \cdot p$ – вектор p умноженный на расчетный коэффициент b ;

$c \cdot d$ – вектор d умноженный на расчетный коэффициент c ;

C – свободный член.

Получили таблицу 4.2

Таблица 4.2 — Уравнения множественной регрессии, значения коэффициента достоверности аппроксимации для ЮЗ и Ю румба за каждый месяц ночью (по данным 01.2007-03.2012)

| Месяц | ЮЗ | З |
|---------|---|---|
| Январь | $y = 1,21x_1 - 0,69x_2 +$ $+1,67x_3 + 0,12$ $R^2 = 0,64$ | $y = -0,58x_1 - 0,94x_2 +$ $+1,10x_3 + 1,98$ $R^2 = 0,27$ |
| Февраль | $y = 0,31x_1 - 0,27x_2 +$ $+1,12x_3 + 1,19$ $R^2 = 0,24$ | $y = -0,32x_1 + 0,27x_2 +$ $+1,90x_3 + 1,27$ $R^2 = 0,40$ |
| Март | $y = 0,43x_1 - 1,64x_2 +$ $+1,33x_3 + 1,41$ $R^2 = 0,38$ | $y = 0,99x_1 - 0,93x_2 +$ $+1,65x_3 + 1,40$ $R^2 = 0,37$ |
| Апрель | $y = -0,05x_1 + 0,20x_2 +$ $+1,20x_3 + 1,45$ $R^2 = 0,50$ | $y = -0,25x_1 - 0,05x_2 +$ $+1,46x_3 + 1,62$ $R^2 = 0,71$ |
| Май | $y = -0,22x_1 - 0,01x_2 +$ $+1,33x_3 + 0,99$ $R^2 = 0,53$ | $y = -0,25x_1 + 0,13x_2 +$ $+0,95x_3 + 1,67$ $R^2 = 0,26$ |

Продолжение таблицы 4.2

| | | |
|----------|---|---|
| Июнь | $y = 0,49x_1 + 1,25x_2 +$ $+1,51x_3 + 1,20$ $R^2 = 0,46$ | $y = 0,55x_1 + 1,09x_2 +$ $+1,42x_3 + 1,71$ $R^2 = 0,41$ |
| Июль | $y = -0,61x_1 + 0,49x_2 +$ $+0,72x_3 + 2,23$ $R^2 = 0,16$ | $y = -0,04x_1 + 0,18x_2 +$ $+0,24x_3 + 1,88$ $R^2 = 0,02$ |
| Август | $y = -0,34x_1 - 0,50x_2 +$ $+1,39x_3 + 1,05$ $R^2 = 0,45$ | $y = -0,82x_1 + 0,94x_2 +$ $+0,45x_3 + 1,97$ $R^2 = 0,33$ |
| Сентябрь | $y = 0,25x_1 + 0,08x_2 +$ $+1,12x_3 + 0,96$ $R^2 = 0,42$ | $y = 1,07x_1 - 0,17x_2 +$ $+0,96x_3 + 0,90$ $R^2 = 0,19$ |
| Октябрь | $y = 0,09x_1 - 0,93x_2 +$ $+0,99x_3 + 2,24$ $R^2 = 0,32$ | $y = -0,80x_1 + 1,60x_2 +$ $+1,99x_3 + 1,21$ $R^2 = 0,72$ |
| Ноябрь | $y = 0,4x_1 - 1,25x_2 +$ $+0,99x_3 + 1,89$ $R^2 = 0,55$ | $y = 0,13x_1 + 0,50x_2 +$ $+1,76x_3 + 1,73$ $R^2 = 0,50$ |

| | | |
|---------|----------------------------|----------------------------|
| Декабрь | $y = -0,89x_1 + 0,47x_2 +$ | $y = -0,41x_1 + 0,65x_2 +$ |
| | $+0,95x_3 + 1,82$ | $+1,59x_3 + 0,96$ |
| | $R^2 = 0,33$ | $R^2 = 0,50$ |

Далее для каждого случая по полученным формулам мы рассчитали значения фактического ветра и сравнили его с данными из аэропорта «Пулково». Получили ошибки, представленные в таблице 4.3.

Таблица 4.3 — Расчёт фактического ветра по формуле, расчёт ошибок, за апрель ночью западного направления

| V_{ϕ} | Расчёт по формуле | Ошибка |
|------------|-------------------|--------|
| 3 | 5 | -2 |
| 2 | 3 | -1 |
| 1 | 2 | -1 |
| 4 | 4 | 0 |
| 2 | 2 | 0 |
| 2 | 2 | 0 |
| 6 | 4 | 2 |
| 6 | 5 | 1 |
| 8 | 6 | 2 |
| 3 | 2 | 1 |
| 3 | 3 | 0 |

Продолжение таблицы 4.3

| | | |
|---|---|----|
| 3 | 3 | 0 |
| 4 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 0 |
| 2 | 2 | 0 |
| 2 | 3 | -1 |
| 4 | 4 | 0 |
| 2 | 1 | 1 |
| 7 | 7 | 0 |
| 2 | 3 | -1 |
| 3 | 3 | 0 |
| 3 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 0 |
| 3 | 3 | 0 |
| 4 | 4 | 0 |
| 2 | 5 | -3 |
| 7 | 7 | 0 |

По знакам определили завышение + или занижение – значения расчетного фактического ветра. Посчитали количества случаев для каждого румба. После этого, мы усреднили все ошибки за каждый румб. И сравнили их с расчетными

ошибками, полученными при расчете барического градиента. Получили графики 4.6.

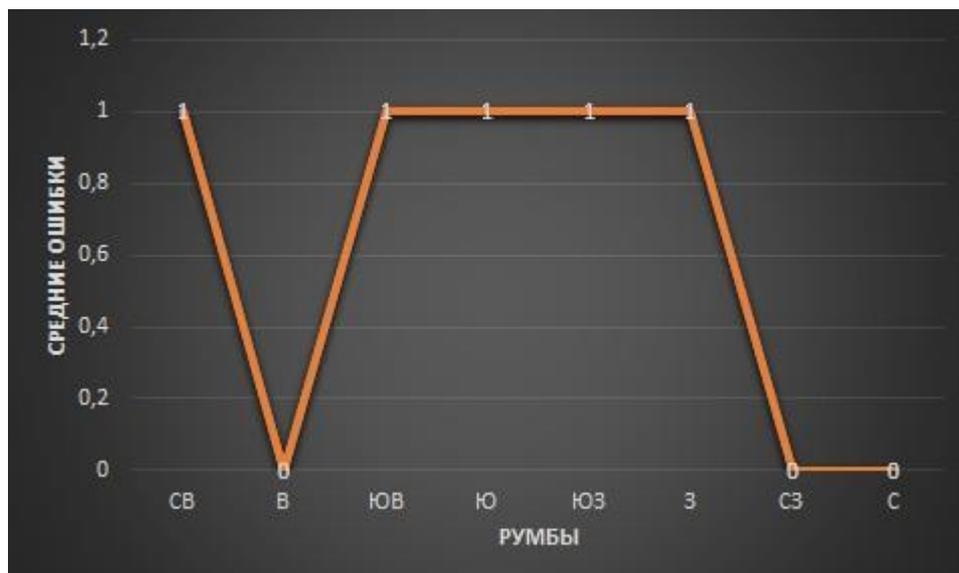


Рисунок 4.6 — Зависимости ошибок расчетного фактического ветра, посчитанного при использовании барического и термического градиентов за апрель ночь, от направления

В итоге мы видим, что ошибки при использовании градиентного ветра и при учёте барического и термического градиента совпали. Средние ошибки прогноза по градиентному ветру и термическому градиенту, как мы можем увидеть, сводятся к минимуму. Это говорит нам о том, что главными факторами, составляющими фактический ветер, является поле давления и температура.

Основной причиной больших ошибок, является малое количество случаев.

Из расчетов мы видим, что данная полученная статистическая связь имеет высокую надежность, средний коэффициент достоверности аппроксимации равен 0,70. Это почти в два раза выше, чем при связи фактического ветра с барическим ветром, когда коэффициент в среднем составлял 0,4.

Заключение

В ходе работы были:

1. Получены зависимости фактического ветра с барическими и термическими градиентами, в аэропорту «Пулково» для каждого румба и для сроков 12 и 00;
2. Определены коэффициенты достоверности аппроксимации от 0,1 до 1, определяющие связь;
3. Получены и посчитаны уравнения множественной регрессии;
4. Определены и сравнены ошибки.

После выполнения этой работы, проанализировав полученные результаты, становится ясно, что полученные коэффициенты достоверности аппроксимации достаточны, что указывает на то, что структура барического и термического поля влияет на ветер. Следовательно, полученные результаты достаточны для практического использования.

Для получения статистических более надежных моделей необходимо:

1. Учесть орфографию местности, турбулентный эффект, стратификацию атмосферы и т.д.;
2. Увеличить объем выборки, прежде всего для не преобладающих направлений ветра.

И далее продолжить исследование.

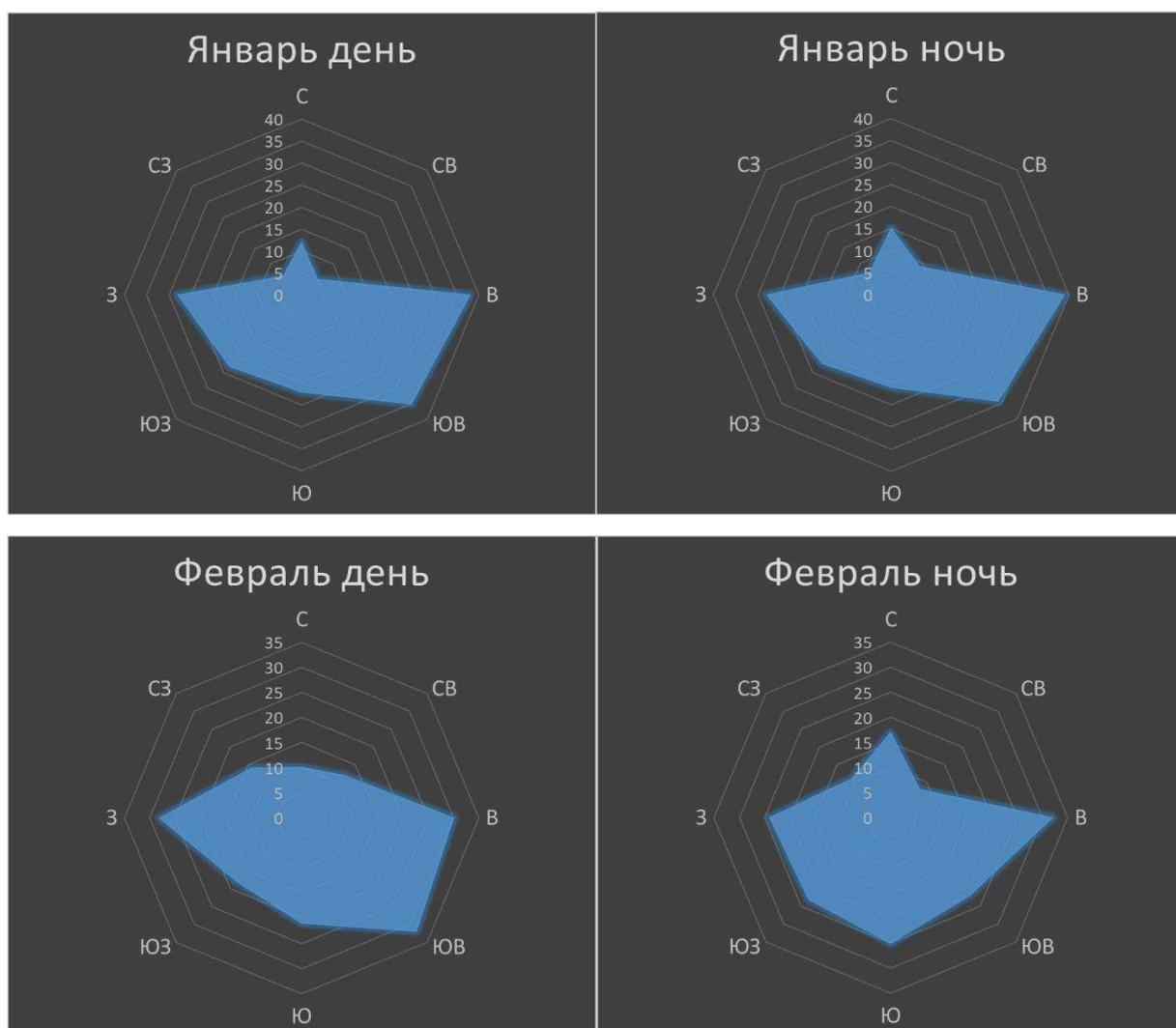
Список использованной литературы

- 1) «Метеорологический словарь». – Интернет-ресурс: <http://meteorologist.ru/gradientnyi-veter.html> (дата обращения: 07.05.2018)
- 2) Подольская Э.Л. Механика жидкости и газа. Раздел «Геофизическая гидродинамика». Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 154 с. (дата обращения: 07.05.2018)
- 3) Недострелова Л.В. Вертикальные движения воздуха и их влияние на поле влажности. – Интернет-ресурс: http://www.rusnauka.com/26__SSN_2008/Geographia/34809.doc.htm (дата обращения: 07.05.2018)
- 4) Энциклопедия Кругосвет. Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия. – Интернет-ресурс: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/ATMOSFERI_TSIRKULYA_TSIYA.html (дата обращения: 11.05.2018)
- 5) Ситдигов И. Строительные онлайн калькуляторы Stroydocs.com. 2015-2016. – Интернет-ресурс: http://stroydocs.com/info/e_veter (дата обращения: 11.05.2018)
- 6) Хромов С. П. Метеорология и климатология. — Л.: Гидрометеиздат. 1968. Интернет-ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/местные_ветры (дата обращения: 29.05.2018)
- 7) Словарь Академик. Интернет-ресурс: <http://infotables.ru/geografiya/548-mestnye-vetry> (дата обращения: 29.05.2018)
- 8) Сорокина Н.Б., Федоров А.В., Самотесов Е.Л. Климат Северо-Западного региона России. Популярный доклад / под общ. ред. д.б.н., проф. Н.Г. Рыбальского, д.ф.н., проф. Ю.Ю. Галкина. – М.: НИА-Природа, РЭФИА, 2004. –104 с. (дата обращения: 11.05.2018)

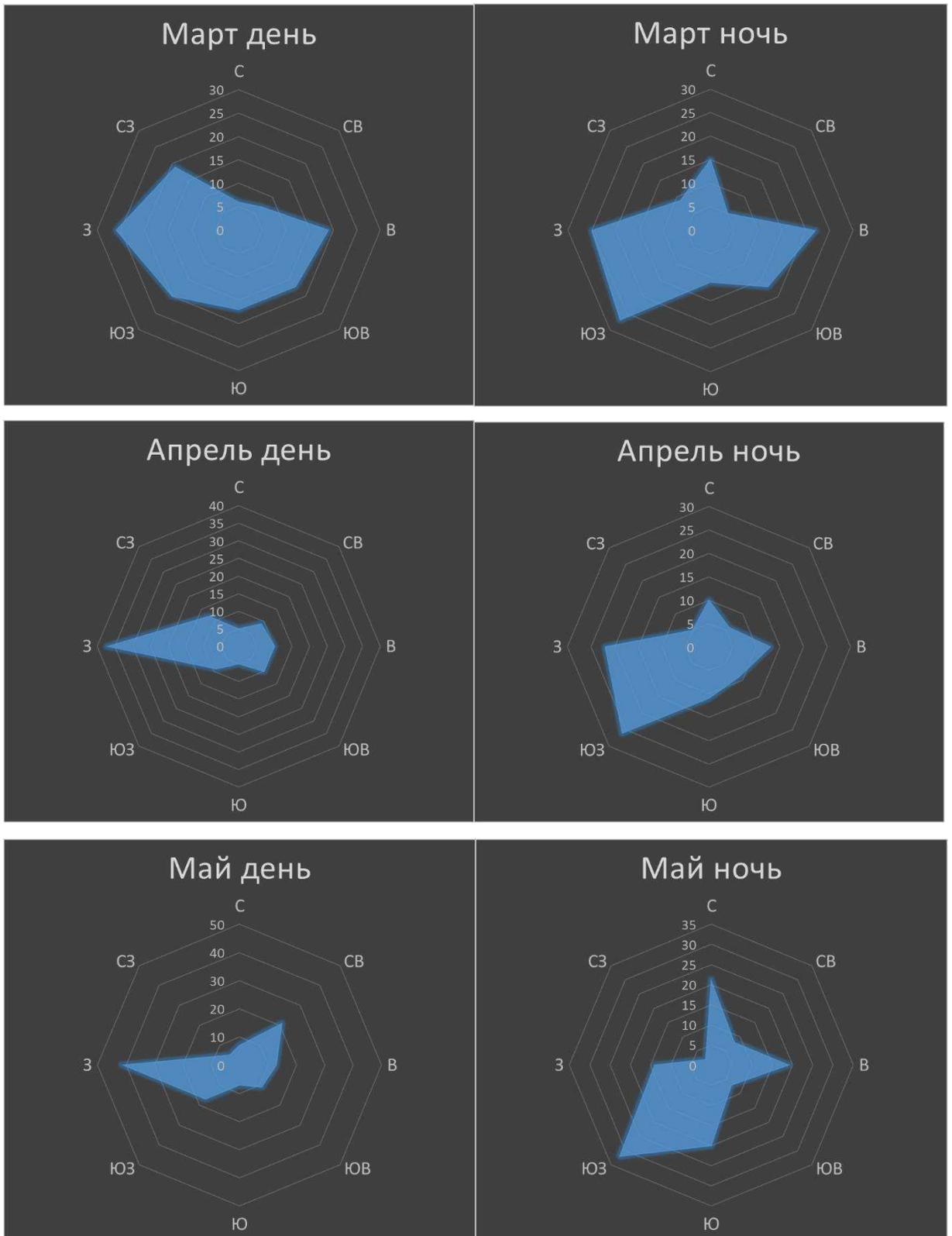
- 9) Интернет – ресурс: http://big-archive.ru/geography/earth_atmosphere/27.php
(дата обращения: 11.05.2018)
- 10) Фетисова Л.М., Иванова Г.Ф. Учебно-методическое пособие по дисциплинам «Синоптическая метеорология». – Интернет-ресурс: http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/119.pdf (дата обращения: 11.05.2018)

Приложение А

Рисунок А.1 – Лепестковые диаграммы рассмотренного количества случаев по направлениям ветра днём и ночью ежемесячно (01.2007-03.2012 гг.)



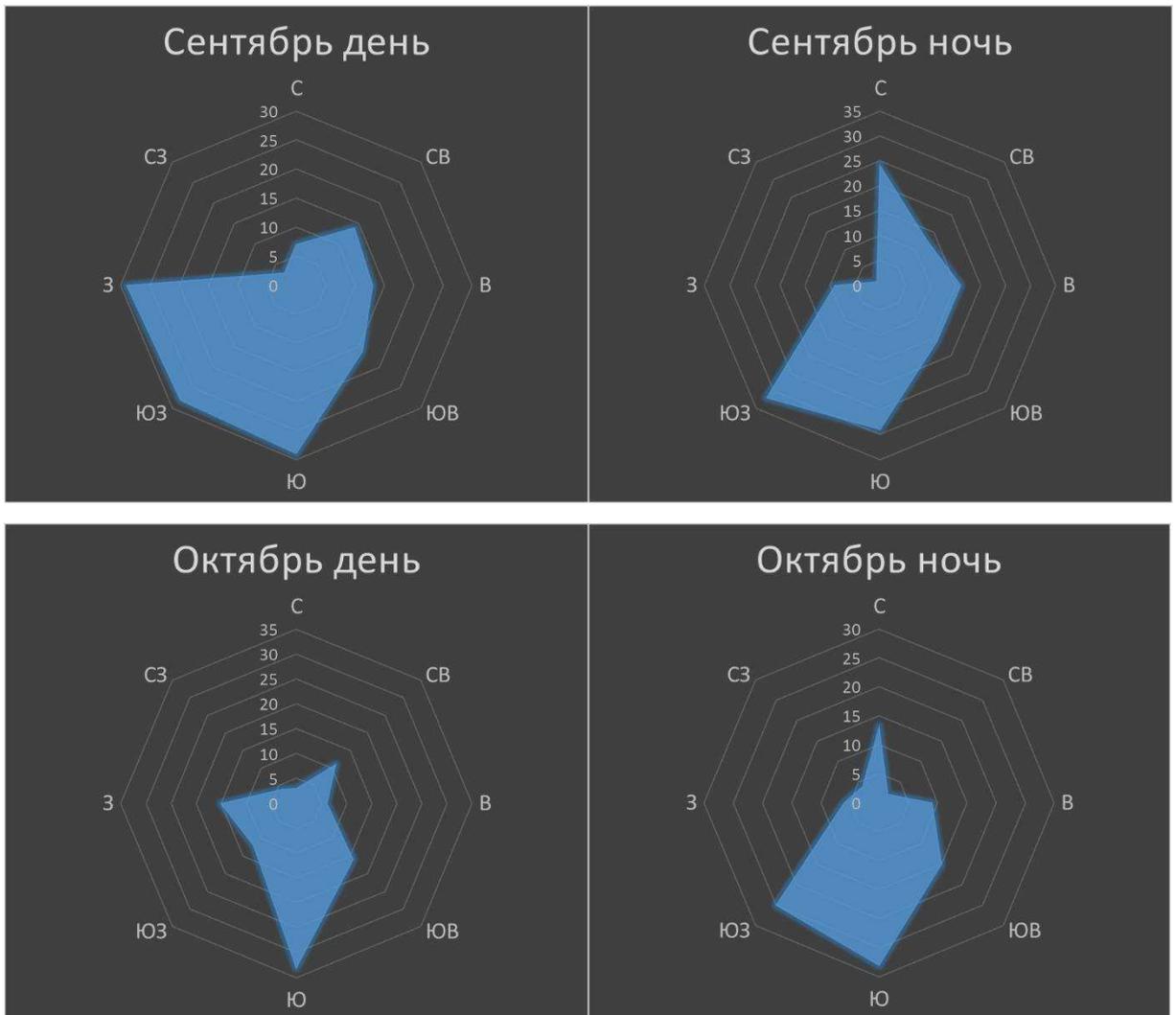
Продолжение рисунка А.1



Продолжение рисунка А.1



Продолжение рисунка А.1



Продолжение рисунка А.1

