



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал в г.Туапсе

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему «Анализ условия возникновения сильного ветра и шквалов на территории
Республике Коми»

Исполнитель Батаева Е.Н.

Руководитель д.г.н., профессор, Яйли Е .А.

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

С.Н. Цай

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

«19» июня 2016 г.



Туапсе
2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал в г.Туапсе

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему «Анализ условия возникновения сильного ветра и шквалов на территории
Республике Коми»

Исполнитель Батаева Е.Н.

Руководитель д.г.н., профессор, Яйли Е .А.

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

«____» _____ 2016 г.

Туапсе
2016

Оглавление

Введение	3
Глава 1 Физико-географическая и климатическая характеристика Республики Коми	5
1.1 Физико-географическое описание исследуемой территории.....	5
1.2 Общая климатическая характеристика	8
Глава 2 Исследование синоптических условий возникновения сильного ветра и шквалов и методика их прогноза	12
2.1 Анализ условий возникновения сильного ветра.....	12
2.2 Синоптические условия возникновения шквалов и сильных ветров ...	21
2.3 Методические основы анализа и прогноза возникновения сильного ветра и шквала	28
Глава 3 Суточный и годовой ход характеристик ветра.....	38
Заключение.....	46
Список использованной литературы.....	48

Введение

К числу особо опасных гидрометеорологических явлений, которые серьезно затрудняют деятельность народно-хозяйственных организаций и наносят им значительный ущерб, относятся сильные штормовые ветры и шквалы.

В современных условиях деятельность человека еще во многом зависит от влияния различных метеорологических факторов, среди которых немаловажную роль играет ветер.

В наибольшей зависимости от атмосферных процессов находятся сельское и водное хозяйство, авиация, мореплавание, рыболовство, все виды транспорта, энергетика, строительство, коммунальное хозяйство, здравоохранение и др.

В зимний период времени сильные ветры и связанные с ним сильные метели вызывают остановку железнодорожного и автомобильного транспорта из-за снежных заносов. При сильном ветре прекращаются наружные строительные работы, закрепляются краны и другие строительные механизмы на объектах.

В жаркие летние месяцы при сильном ветре повышается пожароопасность.

Шквал сравнительно редкое явление и от этого трудно предсказуемое. Иногда шквалы производят значительные разрушения, порывами ветра срываются крыши, вырываются с корнем деревья. Шквал часто сопровождается сильным дождем, но нередки случаи выпадения града.

Прогноз шквалов с достаточной заблаговременностью для каждого пункта все еще остается труднейшей задачей синоптической практики ввиду недостаточной изученности условий их возникновения, ограниченности информации о них, что связано в свою очередь с исключительной их локализованностью в пространстве и во времени.

Актуальность исследований заключается в том, что изучение направления и скорости ветров в регионе, позволит значительно снизить потери, если предприятия заранее предупреждены о неблагоприятных условиях погоды и успевают принять соответствующие меры.

Объект исследований - республика Коми

Предмет исследований – анализ синоптических условий возникновения и распределения сильного ветра и шквалов по региону.

Цель исследований - изучение условий возникновения и статистическое обобщение данных сильного ветра и шквалов по станциям Вуктыл, Мутный материк, Левкинская, Помоздино, Объячево Республики Коми.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие **задачи**:

- проведение анализа особенностей климатических условий;
- выявление закономерностей временных изменений;
- сравнение значений метеорологических величин с многолетними значениями.

Структура работы: Бакалаврская работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе рассматривается физико – географическая и климатическая характеристика региона;

Во второй главе анализируются синоптические условия возникновения и описывается методика анализа и прогноза шквалов и сильных ветров в регионе;

Третья глава содержит анализ случаев и распределения штормового ветра и шквалов по региону. В заключении даются основные выводы по работе.

Информационно-методическое обеспечение: метеорологические показатели гор. Сыктывкар за последние 30 лет,

Общий объем работы изложен на 50 страницах машинописного текста, состоит из 5 таблиц, 12 рисунков.

Глава 1 Физико-географическая и климатическая характеристика Республики Коми

1.1 Физико-географическое описание исследуемой территории

Республика Коми расположена на северо-восточной окраине Восточно-Европейской равнины, западнее Уральского горного хребта. Протяженность территории с севера на юг - 660 километров, с запада на восток - 660 километров. Граничит: на юге - с Пермской областью, Коми-Пермяцким национальным округом, на юго-востоке - со Свердловской областью, на востоке - с Ханты-Мансийским национальным округом (в составе Тюменской области), на северо-востоке - с Ямало-Ненецким национальным округом (в составе Тюменской области), на севере и северо-западе - с Ненецким национальным округом (в составе Архангельской области), на западе - с Архангельской областью (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Физико-географическая карта Республики Коми [1, с. 18]

Большая часть республики - равнинная, и лишь Тиманский кряж прорезает ее в центре с северо-запада на юго-восток (высоты до 450 метров). На востоке возвышаются горы приполярного Урала. Чрезвычайно развита водная сеть. Крупнейшие реки: Печора с притоками, Вычегда с притоками. Большое количество озер. Болота занимают от 12% до 15% от территории республики. Большую часть территории республики занимает тайга. Покрытая лесом площадь составляет 29 миллионов гектаров (69% территории). От 66 градуса северной широты тайга сменяется тундрой.

Сыктывкар (бывший Усть — Сысьольск) — один из старейших городов севера ЕТР. Первое упоминание в письменных документах о погосте Усть — Сысьольск относится 1586 г. Удобное географическое положение на слиянии двух судоходных рек Вычегды и Сысолы способствовало заселению этого района. Здесь проходило водный путь, связывающий через «волоки» Прикамье, Урал и Сибирь с побережьем Белого моря.

Сыктывкар находится на слегка всхолмленной равнине, сложенной преимущественно песчано — глинистыми, карбонатными и сульфатными породами пермского возраста, а также песками и глинами мезозойского возраста. Кристаллические породы погружены на глубину до 3 км.

Город в основном расположен на левом крутом берегу реки Сысолы на четырех ее надпойменных террасах, но частично заходит и на водораздельную равнину между Сысолой и речкой Дырнос. Абсолютные высоты колеблются от 80 м у берега до 160 м на водоразделе. К северу местность понижается до 100 — 120 м и переходит в левобережье реки Вычегды, где в 16 км от центра находится новый район города — Эжва. Почвы преобладают подзолистые, развитые на пылеватых суглинках, на террасах — дерново — перегнойно — глеевые. Понижения рельефа заняты низинными болотами.

На правом берегу Сысолы находится только один район — Заречье, который занимает пойменную террасу, полого поднимающуюся над урезом воды. Пойма Сысолы соединяется с поймой Вычегды и ежегодно в разной мере затопляется водой в период весеннего половодья. В годы с большим

половодьем ширина водной поверхности у города достигает 8 — 9 км. Рельеф поймы создается старицами и гривами различной ширины и высоты. Здесь преобладают слабодерновые песчаные почвы.

В процессе строительства рельефа города был существенно изменен. Многие овраги и болотистые низины засыпаны, крутые склоны срезаны, проведено укрепление берегов реки Сысолы.

Общая площадь городской территории составляет около 10 тыс. га, из которых строениями занято примерно 23% всей площади. Наиболее плотно застроена центральная часть города. Площадь асфальтированных территорий в городе составляет 2030 тыс. м², которые сосредоточены в основном в центральной части.

Городская территория, свободна от построек, занята деревьями, кустарниками, травами. Площадь зеленых насаждений в черте города составляет 4,5 тыс. га (45% всей площади), а на селитебной территории их всего 230 га.

По типу застройки территории города может быть разделена на четыре зоны: центральную, окраины, Заречье, Эжву.

Сыктывкар расположен в лесной зоне. На сотни километров вокруг города раскинулись таежные леса с крупными массивами болот. Правобережье Сысолы и Вычегды заняты в основном сухими сосновыми борами с лишайниковым покровом, растущими на песчаных отложениях борových террас и на плоском зандровом водоразделе. На подзолистых почвах левобережья, развитых на пылевидных суглинках, преобладают зеленомошные леса, на местах старых вырубок растут березы и осины. Пойма занята многоцветными лугами, ивняками, песчаными пляжами. С 1949 года пригородные леса включены в зеленую зону города, которая в настоящее время занимает площадь более 50 тыс. га и является излюбленным местом отдыха горожан.

Станция Сыктывкар расположена в юго – западной части территории Республики Коми. Широта метеостанции 61° 41 долгота 50° 47, высота площадки над уровнем моря 116.4 метров. Станция расположена на ровном,

доминирующем участке местности на западной окраине города Сыктывкара в районе поселка Дырнос. Окружающая местность представляет собой слабо всхолмленную равнину, пересеченную ручьями и неглубокими оврагами [1, с.15].

1.2 Общая климатическая характеристика

Климатические условия Республики Коми определяются ее географическим положением на северо – восточной окраине Европейской территории России и значительной протяженностью ее с севера на юг – 785 км, с запада на восток – 695 км. Климат республики Коми умеренно-континентальный: лето короткое и прохладное, зима длинная и холодная с устойчивым снежным покровом.

Особенностью климата Коми является частая смена воздушных масс, связанная с прохождением циклонов. Наиболее развита циклоническая деятельность зимой и осенью, летом она ослабевает. Нередки случаи вторжения арктического воздуха, которое зимой сопровождается ясной морозной погодой. При таких вторжениях воздушных масс и дополнительном выхолаживании путем излучения с поверхности снега температура воздуха зимой понижается до – 48– 55°C. В теплое время года вторжение арктического воздуха вызывают заморозки.

На большей части республики климат умеренно континентальный с продолжительной и довольно суровой зимой и коротким, сравнительно тёплым летом. Суровость климата возрастает с Юго-Запада на Северо-Восток. В Сыктывкаре средняя температура января —15,1°C, июля 16,6°C; в Ухте — соответственно —17,3°C и 15,3°C; в Воркуте —20,4°C и 11,7°C. В северной и северо-восточной части республики (главным образом за Полярным кругом) развита многолетняя мерзлота (13% всей территории). Количество осадков на преобладающей части территории 600—700 мм в год, в горах Урала — до 1500 мм. Вегетационный период изменяется от 150 суток на Юге до 90 суток на

Северо-Востоке. Сумма температур выше 10° на Севере — менее 600° , на Юге — около 1600° .

Зима – самый длинный период года, он охватывает пять месяцев на юге республики и почти семь – на крайнем северо – востоке.

В зимнее время на земную поверхность Республики Коми приходится малое количество солнечной радиации. Для северных районов, расположенных за полярным кругом, в это время года, когда солнечная радиация равна нулю, характерна полярная ночь. В это же время значительно активизируется циклоническая деятельность, в связи с чем, температура воздуха понижается с запада на восток, а изотермы приобретают почти меридиональное (весна, осень) расположение изотерм занимает промежуточное положение. Продолжительность холодного периода возрастает с юго – запада на северо – восток. Устойчивой переход температуры воздуха через 0°C весной на юге республики наблюдается в среднем около 10 апреля, а на крайнем севере – около 1 июня.

Зима на территории республики холодная и является самым продолжительным периодом. Холодный период года на северо – востоке республики продолжительность 230 – 250 дней, на юге 170 – 180 дней. В наиболее холодным месяцем (январе) средняя месячная температура воздуха на юге республики составляет около 15° , а на северо – востоке – 21° , – 22° .

Лето в республике умеренно теплое. В летнее время северная часть республики находится в очень благоприятных условиях освещения. Севернее полярного круга устанавливается полярный день, во время которого солнце не заходит за горизонт. Благодаря этому земная поверхность получает значительное количество солнечной энергии. Однако, большое количество солнечной радиации отражает земной поверхностью, а также расходуется на таяние снега, на испарение влаги, на прогревание почвы, в результате чего температура летом здесь невысокая. Переход температуры воздуха 10° весной, что характеризует начало лета на юге республики, наблюдается в третьей декаде мая, а на севере – востоке в конце июня – начале июля. Таким образом,

продолжительность лета составляет на северо – востоке – 30 – 40 дней, а на юге – около 100 дней.

Относительная влажность воздуха 13 часов, когда ее значение близки к минимальному, наибольшая в зимние месяцы. Величина ее мало меняется по территории и составляет 83 – 86%. В теплый период года относительная влажность воздуха снижается до 53 – 60% и возрастает с юга на северо – восток от 53% до 65%. Активная циклоническая деятельность над территорией Республики Коми вызывает выпадение атмосферных осадков. Особенно обильные осадки выпадают в циклонах, поступающих из районах Черного и Средиземного морей. Циклоны с Атлантики приносят осадки менее интенсивные, но более продолжительные. В соответствии с траекторией движения циклонов по рассматриваемой территории изменяется и распределение осадков. Плавный характер такого изменения нарушается влиянием рельефа (Уральские горы, Тиманский кряж, Северные увалы), где происходит возрастание атмосферных осадков с высотой, увеличение их на наветренных склонах и уменьшение на подветренных. По территории Республики годовое количество осадков убывает с юга на север от 700 до 550 мм, однако на Тимане годовая сумма их возрастает до 750 – 800 мм, а в горах Урала – до 1500 мм и более.

Ветровой режим республики Коми определяется характером барического поля на рассматриваемой территории. В годовом ходе отчетливо выражена смена преобладающих румбов ветра: в холодный период преобладают южные и юго – западные ветры, в теплый – ветры северных румбов.

В холодное время года ветровой режим формируется преимущественно под влиянием Исландского минимума. С октября по март преобладают ветры южного и юго-западного направлений. Сравнительно часто наблюдаются юго-восточные ветры, повторяемость северного и северо – восточного ветра не превышает 10 – 15 %. В зимний период времени средняя месячная скорость ветра на северо – востоке составляет 5 – 6 м/с, на остальной территории 3 – 4 м/с. Сильные ветры бывают не часто (1 – 3 дня), кроме северо – востока

республики (6 – 10 дней). При больших скоростях ветра наблюдаются метели. Число дней с метелью за зиму составляет 30–50 на большей части территории и 60–80 на северо – востоке. Наибольшее число дней с метелью (7–15) наблюдается в январе.

Ветры весной неустойчивы и преобладают северного и северо – западного направления. Средняя скорость ветра на территории колеблется от 3.0 до 4.5 м/с, за исключением крайнего северо – востока.

В теплое время года над континентом располагается область пониженного давления, над Баренцевым морем – повышенного. В связи с этим уменьшается повторяемость западных ветров, возрастает – северных. Летом преобладают ветры северного и северо – восточного направлений. Средняя скорость ветра в июле 2.5 – 3.5 м/с. На севере и северо – востоке скорости ветра составляют 4.0 – 4.5 м/с. Число дней с сильным ветром невелико (0.3 – 1.5 дня).

Средние годовые скорости ветра изменяются от 3 – 4 м/с на большей части территории и до 5 – 6 м/с на северо – востоке. Наибольшее число дней с сильным ветром (≥ 15 м/с) наблюдается на северо – востоке территории (25–75 дней), наименьшее – в сильно заселенной местности (3–15 дней).

Наименьшие средние месячные скорости ветра 2.5–3.0 м/с наблюдаются в июле – августе. Суточный ход скорости ветра хорошо выражен летом. Максимум приходится на дневные часы, минимум – на ночные.

Преобладающими на территории Коми являются скорости ветра до 5 м/с (4.0 – 6.5 м/с), сильные ветры наблюдаются в зимнее время года. В отдельных случаях при порывах скорости ветра достигают 40 м/с.

Глава 2 Исследование синоптических условий возникновения сильного ветра и шквалов и методика их прогноза

Ветер – одна из наиболее изменчивых метеорологических величин. Возникновение его связано с разностью атмосферного давления и температуры воздуха в разных районах земной поверхности.

Ветер характеризуется двумя параметрами – скоростью и направлением. Направление ветра (откуда дует ветер) обычно определяют в румбах (по 8- или 16-румбовой системе) или в градусах, скорость ветра измеряется в м/с или км/ч.

Характеристики ветра получены на основе наблюдений по флюгеру (высота 10,3м) из измерений средней скорости и среднего направления ветра за 2-минутный интервал, а также по анеморумбометру М-63, установленном на высоте 10 м, по которому измеряют направление, среднюю скорость ветра за 10-минутный промежуток времени и максимальное значение мгновенной скорости за тот же промежуток времени (скорость ветра при порывах). Порыв ветра характеризует наибольшую скорость ветра, которая удерживается хотя бы в течение нескольких секунд.

2.1 Анализ условий возникновения сильного ветра

По строению поверхности территория республики Коми делится на две неравные части: восточная окраина относится к горному Уралу, остальная площадь – к Русской равнине. К равнинной территории относится находящийся в центральной части республики Тиманский кряж. Южная часть Тиманского кряжа представлена рядом гряд возвышенностей (до 320 м абсолютной высоты). Между Тиманским кряжем и Уральским хребтом в виде огромного треугольника располагается Печерская равнина, имеющая уклон к северу. Таким образом, усилению ветров на северо – востоке республики значительно способствует орографический фактор – Тиманский кряж и Уральские горы, между которыми создается как бы воздушный коридор.

Длительное совпадение направления термобарического градиента и ориентировки горной долины вызывает активный межуровенный обмен количеством движения и способствует возникновению сильных ветров в этих районах.

Еще одним фактором, способствующим усилению ветров на северо-востоке республики, является подстилающая поверхность – это постепенный переход тайги в лесотундру и тундру, что значительно уменьшает трение воздуха о подстилающую поверхность.

Для территории республики Коми, расположенной в умеренных и частично в высоких широтах северо-восточной части ЕТР, характерны особенности общей циркуляции северного полушария. В то же время синоптические процессы имеют здесь некоторые особенности, обусловленные рельефом местности, так как под влиянием горных систем Урала циклоны замедляют свое движение, а затем или резко изменяют свое направление перемещения на север или становятся малоподвижными глубокими образованиями, так как часто оказываются заблокированными антициклонами над северо – западом Сибири. Эта особенность приводит к увеличению времени непосредственного действия циклонов. Большую часть года преобладает циклоническая циркуляция, обусловленная западными, южными, стационарными и северо-западными циклонами.

Местные ветры относятся к атмосферным явлениям, горизонтальная протяженность которых изменяется от нескольких сотен метров до десятков и сотен километров. Возникают местные ветры под влиянием воздействия неоднородностей земной поверхности на воздушный поток более крупного масштаба.

При движении воздуха вдоль земной поверхности все неровности последней оказывают механическое воздействие на поток, изменяя его направление и скорость, а также вызывают появление вертикальной составляющей скорости. Это обусловлено искривлением и сближением или расхождением линий тока при встрече потока и обтекании им как крупных, так

и малых неровностей рельефа.

Кроме того, неравномерный нагрев подстилающей поверхности, возникающий в силу неоднородности радиационных характеристик различных участков земной поверхности (альбедо) или различия их свойств (суша и водная поверхность), а также различного наклона к горизонту облучаемых поверхностей, может явиться причиной возникновения периодических во времени ветров в нижних слоях атмосферы. Такие ветры называют местными.

Существуют два вида воздействий земной поверхности на атмосферу – термическое и механическое. Различие в теплофизических, радиационных и других свойствах соседних частей земной поверхности ведет к возникновению горизонтальной разности температур, которая в свою очередь порождает барический градиент, являющийся непосредственной причиной возникновения ветра. К таким ветрам относятся бризы, горно-долинные (склоновые) и ледниковые ветры. Эти ветры выражены тем отчетливее, чем меньше скорость воздушного потока более крупного масштаба.

Под влиянием механических воздействий со стороны местных препятствий (гор, возвышенностей, лесов, строений) воздушный поток также испытывает возмущения: на наветренной стороне он совершает восходящие, на подветренной – нисходящие движения; в долинах, горных ущельях скорость потока увеличивается.

Местные ветры выражены тем отчетливее, чем больше скорость набегающего на препятствие воздушного потока. Эти ветры носят название фена, боры, стокового ветра и ветра горных проходов. Наибольших значений скорость ветра достигает в тех частях препятствий, где воздух совершает нисходящее движение.

Местные ветры термического происхождения обладают хорошо выраженной периодичностью: в течение суток изменяется не только скорость ветра, но и направление.

Закономерности суточного хода и распределения с высотой метеорологических величин над неоднородной земной поверхностью

существенно отличаются от закономерностей изменения этих величин над однородной поверхностью [5, с.119].

Влияние леса на воздушные течения двоякое. Во-первых, лес замедляет поток у земной поверхности. Отдельные стволы и ветви деревьев играют роль аэродинамической решетки, о которую разбиваются просачивающиеся вихри.

На расстоянии около 50 м перед лесом скорость ветра начинает уменьшаться и становится равной нулю внутри леса, если он густой. Позади леса, на расстояниях от 100 до 500 м, также отмечается ослабление ветра. Во-вторых, в зависимости от густоты леса часть воздушного потока поднимается и протекает над лесом, а другая его часть проходит сквозь лес. Над лесом скорость ветра и его порывистость увеличиваются. Это заметно до высоты 200 – 300 м. Внутри леса наблюдается слабый ветер или затишье [6, с. 39].

При конвективных движениях подъем или опускание некоторого объема воздуха связан соотношением плотностей данного объема и окружающего воздуха.

Пусть на некоторой высоте плотность воздуха будет

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (2.1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

P – давление, гПа;

R – газовая постоянная, Дж/кг·К

T – температура окружающего воздуха, °К

Для некоторого объема воздуха, поднявшегося до этой же высоты, плотность равна

$$\rho' = \frac{P}{R \cdot T'} \quad (2.2)$$

Для единицы объема плотность численно равна массе. Поэтому вес единичного объема окружающего воздуха Q и поднимающегося воздуха

Q'будет равен

$$Q = g\rho = \frac{gP}{R \cdot T} \quad (2.3)$$

$$Q' = g\rho' = \frac{gP}{R \cdot T'} \quad (2.4)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с^2 ;

Q - вес окружающего объема воздуха;

Q' - вес поднявшегося объема воздуха

По закону Архимеда, подъемная, или выталкивающая сила A , действуя на поднимающийся воздух, равна разности весов окружающего и поднимающегося воздуха. Тогда:

$$A = Q - Q' = \frac{gP}{R} \left(\frac{T' - T}{TT'} \right) \quad (2.5)$$

Разделив эту силу на массу поднимающегося воздуха, равную для единицы объема ρ' , получим ускорение конвективного потока

$$\alpha = \frac{A}{\rho'} = g \frac{T' - T}{T} \quad (2.6)$$

где ρ' - плотность поднявшегося воздуха, кг/м^3 ;

T' - температура поднявшегося воздуха, $^{\circ}\text{К}$;

g - ускорение конвективного потока.

Отсюда видно, что ускорение будет положительным, т.е. направленным вверх, если температура поднимающегося воздуха T' выше температуры окружающего воздуха T .

В противном случае ускорение будет отрицательным и будет направлено вниз.

Ускорение равно нулю, если температура данного количества воздуха равна температуре окружающего воздуха. При этом конвективные вертикальные движения прекращаются, так как движение по инерции будут встречать сопротивление вследствие появления ускорения обратного знака и будут быстро угасать.

При разности температур $T' - T$ равной 1° и температуре окружающего воздуха $T = 273^\circ\text{K}$ ускорение $g = 3,6 \text{ см/сек}^2$, что за 1 минуту может вызвать скорость 2,2 м/сек, т.е. ускорение конвективных движений даже при такой небольшой разности температур намного больше ускорений, вызываемых горизонтальным барическим градиентом.

Проанализируем уравнение (2.6). Значение T и T' можно представить как

$$T = T_0 - \gamma h \quad (2.7)$$

$$T' = T'_0 - \gamma h \quad (2.8)$$

где T_0 - температура воздуха у земли, $^\circ\text{K}$;

T'_0 - температура поднявшегося воздуха $^\circ\text{K}$;

γ - вертикальный температурный градиент, $^\circ/100 \text{ м}$;

Γ_0 - сухоадиабатический градиент, $^\circ/100 \text{ м}$;

h - высота, на которую поднялся данный объем воздуха, в сотнях метров.

Подставив значения T и T' из (2.7) и (2.8) в числитель (2.6) имеем

$$\alpha = g \frac{T'_0 - \gamma_a h - T_0 + \gamma h}{T} \quad (2.9)$$

или

$$\alpha = g \frac{T'_0 - T_0}{T} + g \frac{\gamma - \gamma_a}{T} h \quad (2.10)$$

Таким образом, ускорение конвективного движения определяется двумя

причинами, представленными слагаемыми правой части уравнения (2.10). Первое слагаемое характеризуется начальным перегревом некоторого объема воздуха по отношению к окружающему воздуху у поверхности земли. Второе слагаемое зависит от характеристики стратификации $\gamma - \gamma_0$.

Конвекция, происходящая вследствие неравномерного нагрева воздуха у поверхности земли и неустойчивой стратификации, называется термической конвекцией.

Она целиком определяется термическими условиями атмосферы. Если градиенты в поднимающемся и окружающем воздухе равны ($\gamma_0 = \gamma = 1$), то при этом равновесие безразличное и вертикальных движений воздуха нет. Это справедливо для случая, когда начальные значения температуры у поверхности земли T_0 и T' одинаковы.

Если же имеет место начальный перегрев, то и в случае безразличного равновесия ускорение будет положительным и перегретый относительно окружающего воздух будет подниматься вверх.

Более того, если даже стратификация будет устойчивой ($\gamma - \gamma_0$), но перегрев при этом будет достаточно большим, конвекция также может иметь место. Именно так и начинается конвекция в утренние часы, когда в нижних слоях воздуха появляется перегрев отдельных участков воздуха по сравнению с окружающим воздухом, которые и начинают подниматься вверх.

Если же стратификация неустойчива ($\gamma - \gamma_0 > 0$), то перегрев отдельных объемов воздуха в нижних слоях содействует развитию конвекции, являясь одним из импульсов начала конвективных движений [10, с.89].

При термической конвекции воздух может подниматься до такой высоты, на которой его температура окажется равной температуре окружающего воздуха. Необходимым условием для прекращения конвекции является наличие на некоторой высоте такого слоя, в котором стратификация будет устойчивой.

Высота, до которой происходит конвективное поднятие воздуха, называется уровнем конвекции.

Слой инверсии очень устойчив; при поднятии в этом слое особенно

быстро достигается уровень конвекции, так же его называют задерживающим слоем.

Этот термин относится и к слоям изотермии, и к слоям с очень малым, хотя и положительным, градиентом, то есть ко всем слоям, в которых конвекция затруднена.

Конвекция в атмосфере может возникать и развиваться не только по термическим причинам, но и по причинам, определяющимся полем ветра, которые назовем динамическими причинами (динамическая конвекция), в частности трения о землю и изменение ветра с высотой. Эти причины способствуют возникновению в атмосфере множества вихрей, в результате чего одни частицы воздуха поднимаются вверх, другие опускаются вниз. Эта конвекция носит характер перемешивания атмосферы.

Развитие конвекции в атмосфере происходит при наличии известных запасов энергии неустойчивости. Эти запасы определяются не только распределением с высотой температуры, но и ветра. Таким образом, можно говорить о термодинамической неустойчивости атмосферы.

Удобной характеристикой состояния атмосферы в этом отношении является число Ричардсона R_i .

$$R_i = \frac{\frac{g}{T}(\gamma_a - \gamma)}{|\overline{\delta v}|^2} \quad (2.11)$$

где $|\overline{\delta v}|^2$ - величина вектора изменения ветра с высотой

Критическое значение числа Ричардсона принимается равным единице. При значениях $R_i < 1$ турбулентность возникает и усиливается, а при $R_i > 1$ она ослабевает. Из (2.11) видно, что поскольку знаменатель – всегда положительное число, безразличное равновесие, определяемое температурной стратификацией, может быть при $R_i = 0$, так как в этом случае $\gamma_a = \gamma$.

Неустойчивое равновесие, соответствующее $\gamma_a < \gamma$ может быть при $R_i < 0$. Устойчивое же в отношении температурного режима равновесие будет при

$\gamma_a > \gamma$, что означает $R_i > 0$. Но при этом R_i может быть и меньше единицы, и равно, и больше. Так как турбулентность развивается при $R_i < 1$, а развитие турбулентности способствует так же развитию конвективной неустойчивости, то критерием термодинамической неустойчивости может быть выражение

$$\frac{T}{g} |\overline{\delta v}|^2 + \gamma > \gamma_a \quad (2.12)$$

Это означает, что для того чтобы проявилась неустойчивость, температурный градиент γ может быть и меньше адиабатического γ_a , но в сумме с характеристикой динамического фактора, которую представляет собой первый член левой части уравнения (2.12), они должны превышать γ_a .

Это означает, что при значительном изменении ветра с высотой конвекция может развиваться и при малых γ , при которых без учета динамического фактора термическая стратификация с высотой эквивалентна некоторому дополнительному термическому градиенту, который прибавляется к наблюдаемому градиенту γ .

Поэтому это слагаемое так и называется термический эквивалент вертикального градиента ветра. При малых изменениях ветра с высотой он невелик и может не учитываться, но, например, при $V=2$ м/с на расстоянии 100 м высоты равен $1.0 - 1.3^\circ$ на 100 м.

Если воздух богат влагой, то достаточно, чтобы левая часть (2.12) была больше влажно адиабатического градиента γ_a . Это еще более повышает роль динамического фактора, который еще скорее приблизит суммарный градиент к величине, достаточной для развития вертикальных движений. Заметим, что в данном случае не имеет значения, уменьшается или возрастает с высотой скорость ветра, так как величина $|\overline{\delta v}|$ входит в уравнение во второй степени.

Важно, чтобы абсолютная величина вектора изменения ветра была достаточно большой. Динамическая конвекция может проявляться и тогда, когда термическая конвекция как самостоятельный процесс не развивается. И,

наоборот, термическая конвекция может развиваться в условиях ослабленной динамической конвекции. Во многих случаях эти процессы, усиливая друг друга, существуют как единое выражение неустойчивости атмосферы [1, с.47].

2.2 Синоптические условия возникновения шквалов и сильных ветров

Под шквалом понимается резкое усиление ветра у поверхности земли в течение короткого времени, сопровождающееся изменениями его направлений. Скорость ветра при шквале нередко превышает 20 – 30 м/с, причем она значительно больше градиентной, рассчитанной по полю изобар на приземной карте погоды. Продолжительность шкала по наблюдениям в одном пункте обычно не превышает нескольких минут, хотя может составлять и десятки минут [2, с.126].

Возникновение и развитие шквалов связано с кучево-дождевыми облаками и происходит следующим образом.

В развивающемся конвективном облаке (рис. 2.1) имеют место значительные по скорости восходящие конвективные потоки, увлекающие вверх большое количество влаги.

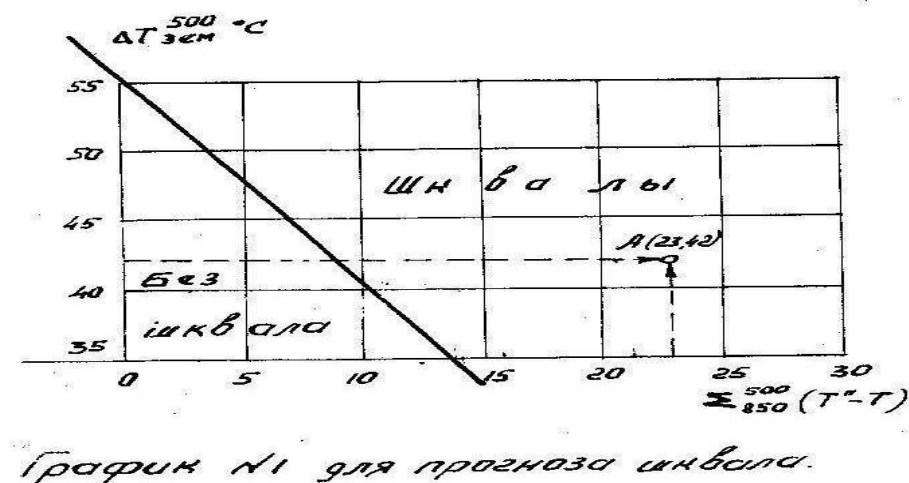


Рис. 2.1. Вертикальный разрез через линию шкала [15, с.94]

Максимальные значения скорости восходящего конвективного потока (20

– 30 м/с и более) отмечаются в средней части облака на высотах 5–7 км, где при температурах от –10 до –20 °С эта влага и накапливается. Здесь располагается так называемая зона аккумуляции.

Скопившаяся в зоне аккумуляции огромная масса влаги в виде переохлажденных капель и града поддерживается восходящими конвективными потоками до тех пор, пока скорость падения градин и капель равна или меньше скорости восходящих конвективных потоков в облаке. После того как облако достигнет стадии максимального развития, восходящие конвективные потоки в нем начинают ослабевать.

С другой стороны, размер градин в зоне аккумуляции быстро увеличивается, главным образом за счет столкновения и замерзания на них переохлажденных капель, приносимых снизу восходящим конвективным потоком.

Так как более крупные градины падают значительно быстрее, чем более мелкие, то наступает момент, когда скорость падения больших градин становится больше, чем скорость восходящего конвективного потока, поддерживавшего их в воздухе.

В результате крупные градины начинают падать вниз из зоны аккумуляции. При падении вниз крупные градины увлекают с собой частицы окружающего облачного воздуха, часть переохлажденных капель и более мелкий град.

Таким образом, в конвективном облаке на высотах 5 – 7 км начинается нисходящий поток, причем процесс носит необратимый характер. Объясняется это тем, что изменение температуры в нисходящем потоке в зоне осадков происходит по влажно адиабатическому закону, тогда как в окружающем воздухе вертикальные температурные градиенты больше влажно адиабатического. Поэтому по мере опускания вниз разница между температурой нисходящего потока и окружающего воздуха будет возрастать. Нисходящий поток по мере опускания становится все холоднее и плотнее по сравнению с окружающим воздухом и вследствие этого со все возрастающей

скоростью устремляется к земле.

Чем больше путь восходящего потока в зоне осадков в конвективном облаке и под ним, и чем неустойчивее температурная стратификация окружающего воздуха, тем больше будет скорость опускающегося потока холодного воздуха у поверхности земли. Достигнув поверхности земли, нисходящий поток холодного воздуха из кучево – дождевых облаков растекается в горизонтальном направлении, вызывая внезапное и резкое усиление ветра и изменение его направления, называемое шквалом. Разница температуры воздуха у поверхности земли перед грозовым дождем и шквалом и после них составляет обычно $10 - 15^{\circ}\text{C}$ и более.

Чем эта разница больше, тем сильнее шквал. Развитие в кучево – дождевом облаке нисходящего потока холодного воздуха является первым компонентом скорости ветра при шквале.

Вторым компонентом, создающим усиление скорости ветра, является перенос с верхних уровней (с высоты $5 - 7$ км) больших горизонтальных скоростей (большого количества движения) нисходящим вертикальным потоком воздуха в кучево – дождевом облаке. При этом нисходящий поток холодного воздуха несколько тормозится в нижних слоях с меньшими скоростями ветра, однако перенос значительных горизонтальных скоростей с верхних уровней все же сохраняется и способствует усилению горизонтального порыва ветра при шквале [3, с.132].

Различают внутримассовые и фронтальные шквалы. Внутримассовые шквалы – сравнительно редкое явление. Эти шквалы охватывают одновременно площадь, несколько меньшую площади горизонтального сечения кучево-дождевого облака, под которым они возникают. Шквал перемещается вместе с порождающим его облаком, поэтому последствия шквала прослеживаются в пределах определенной полосы – «след» шквала.

Возникают внутримассовые шквалы преимущественно при активных вторжениях холодного воздуха с высокой влажностью в тылу циклонов. Обычно у таких циклонов четко обрисовывается изаллобарическая пара, и если

при этом в области роста давления барические тенденции достигают 5 гПа за 3 часа, то шквалистые усиления ветра в дневные часы достигают 15 – 20 м/с.

Внутримассовые шквалы, возникающие при термической конвекции в малоградиентных барических полях, заполняющихся циклонах – явление в умеренных широтах редкое и существенной опасности, как правило, не представляют. Они наблюдаются в теплых неустойчивых воздушных массах с высокой влажностью при развитии грозовой деятельности.

Фронтальные, наиболее интенсивные шквалы, возникают чаще всего на холодных атмосферных фронтах или холодных фронтах окклюзии. Фронтальные шквалы не являются, как внутримассовые, единичными образованиями, а обычно сгруппированы в полосах развитой конвективной неустойчивости, параллельным облачным полосам фронтов. Передняя кромка этой полосы, имеющей ширину от 50 до 75 км, называется линией неустойчивости или линией шквалов.

Эта линия обычно совпадает с линией фронта у поверхности земли. При высокой влажности воздуха в теплом секторе циклона линия шквалов может находиться на удалении от облачной полосы холодного фронта до 50 – 100 км, а при удалении теплого воздуха от насыщения она может лежать за холодным фронтом. Полоса неустойчивости протяженностью 100–500 км характеризуется грозами и шквалами, вытянувшимися параллельно холодному фронту [4, с.156].

Шквал относится к опасным метеорологическим явлениям. Наибольшую опасность они представляют ввиду их внезапного появления часто на фоне слабых ветров.

В результате синоптического анализа выявлено, что возникновение сильных ветров связано с прохождением активных глубоких циклонов и ложбин с фронтальными разделами.

В основу типизации синоптических процессов было положено направление перемещения циклонов у земли. Усиление ветра в определенном районе в значительной мере зависит от траектории перемещения циклона и в такой типизации уже заложены прогностические элементы.

Анализ карт погоды позволил установить четыре типа синоптических процессов, обуславливающих сильные ветры на территории республики Коми:

- Северо-западный тип – прохождение «ныряющих циклонов»;
- Западный тип;
- Юго-западный тип;
- Южный тип.

«Ныряющими циклонами» называются циклоны, перемещающиеся к востоку с южной составляющей.

На рис. 2.1 представлены характерные траектории «ныряющих циклонов». Циклоны этого типа смещаются из района островов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа на юго-восток через остров Новая Земля на Карское море и из районов Баренцева моря через остров Колгуев на республику Коми.

Высотная фронтальная зона формируется между высотным теплым гребнем над Западной Европой и Скандинавией и высоким холодным циклоном над Западной Сибирью.

Направление и скорость перемещения таких циклонов соответствуют направленности и интенсивности высотной фронтальной зоны.

Скорость перемещения циклонов у земли в большинстве случаев составляет 50 – 60 км/ч, но бывает до 80 – 100 км/ч.

Перемещение циклонов происходит почти в широтном направлении вдоль параллели 68 – 72°с.ш. (рис. 2.2).

Давление в центре циклонов составляет 955 – 995 гПа, наиболее характерным является 980 гПа.

Отличительной чертой «ныряющих циклонов» является значительное падение давления в их передней части. В подавляющем большинстве оно составляет 7 – 9 гПа/3ч. Такого же порядка отмечается и рост давления в тыловой части циклонов. Сильные ветры наблюдаются на южной периферии циклона, перед теплым фронтом, продолжаясь затем в теплом секторе, реже – в тыловой части циклонов при прохождении холодных фронтов. Контраст температуры у поверхности земли на теплом фронте равен 11 – 16 °С/500км.

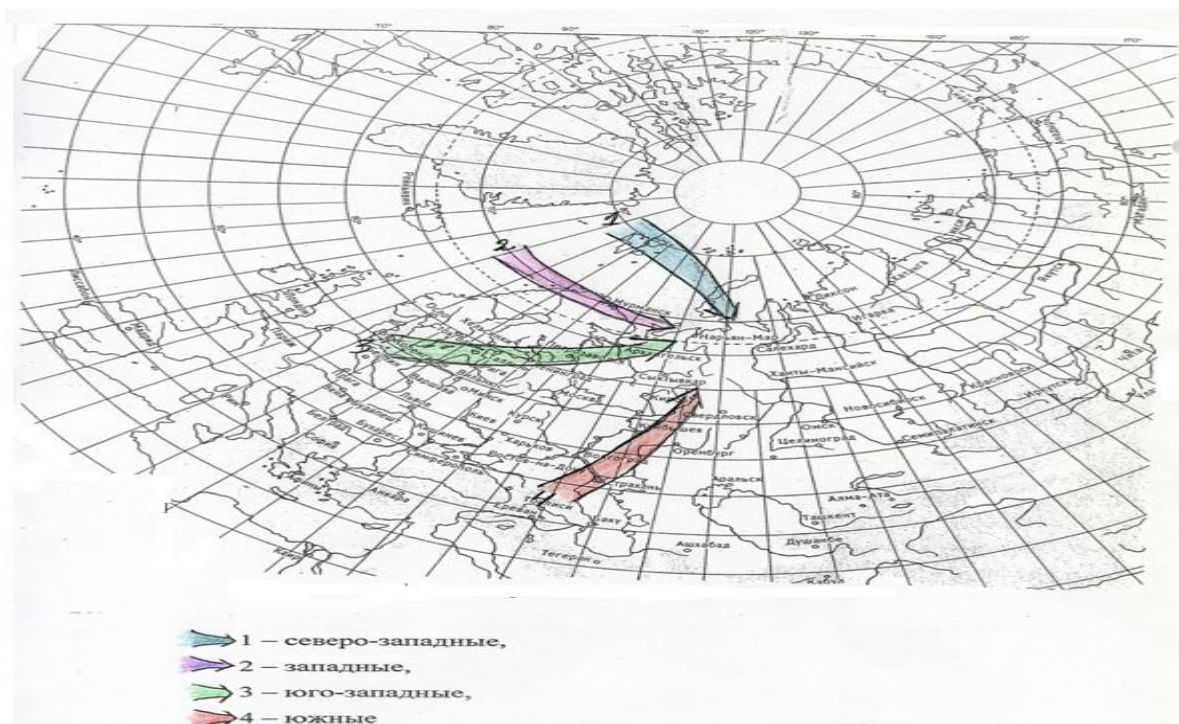


Рис. 2.2. Траектория перемещения циклонов¹

При «ныряющих циклонах» средняя скорость ветра составляет 20 – 25 м/с, максимальные порывы 27 – 29 м/с, но порывы могут достигать ураганной силы 40 – 45 м/с.

К западному типу циклонов относятся циклоны, перемещающиеся с запада на восток – с севера Норвежского моря на юг Баренцева и Карского морей. Высотная фронтальная зона расположена почти в широтном направлении и характеризуется значительными барическими и термическими градиентами. Вдоль высотной фронтальной зоны у земли происходит быстрое перемещение циклонов с запада на восток, скорость перемещения составляет около 40 км/ч. Давление в центре циклонов чаще всего бывает 955 – 975 гПа, но в отдельных случаях циклоны этого типа могут быть и не глубокие – 993 гПа.

Величина падения давления в передней части циклонов 3 – 6 гПа/3ч, но возможны падения 7 – 11 гПа/3ч. Рост давления в тыловой части такого же порядка. Усиление ветра происходит в передней части циклонов, продолжается в теплом секторе и в тылу. Максимальный порыв может достигать 45 м/с, но в

¹ Рисунок получен автором в процессе исследования

среднем он равен 30 – 35 м/с.

Траектории циклонов проходят через Балтийское море и страны Балтики на Новую Землю (рис. 2.2).

Высотная фронтальная зона образует гребни над районами Великобритании и над Уралом, а над западной Европой и западными районами ЕТР располагается высотная ложбина.

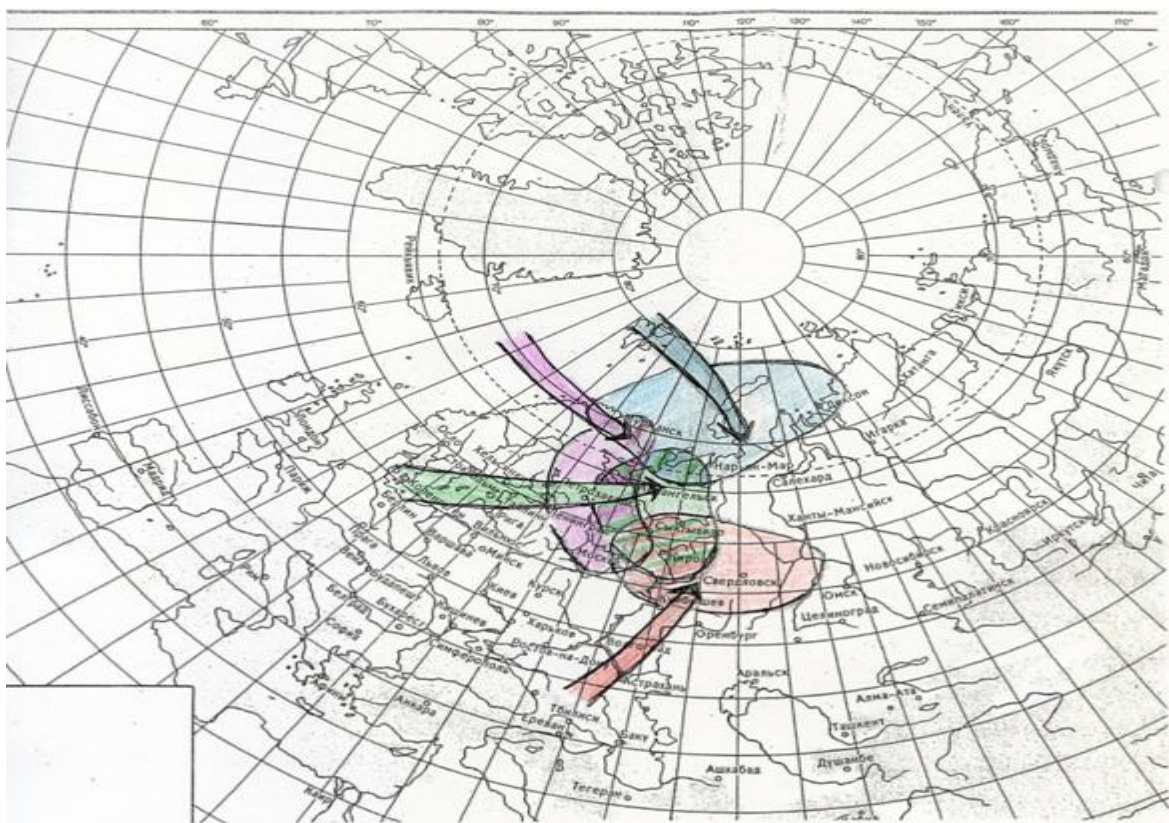


Рис. 2.3. Зоны угрозы²

Наиболее благоприятные условия для возникновения сильного ветра в республике Коми создаются, когда циклон приближается к усиливающемуся гребню Сибирского антициклона. Скорость смещения циклонов 40 – 50 км/ч. Давление в центре циклонов составляет 975 – 985 гПа.

Величина падения давления в передней части циклона составляет 3 – 5 гПа/3ч. Такого же порядка рост давления в тыловой части циклона. Усиление ветра происходит в передней части циклонов.

Средние скорости ветра бывают от 17 до 26 м/с, максимальный порыв до

² Рисунок получен автором в процессе исследования

42 м/с. Контраст температур у поверхности земли в зоне теплого фронта 14 – 18 °С/500км.

Южные циклоны зарождаются в районе Средиземного, Черного, Каспийского морей и перемещаются к северу или к северо-востоку (рис. 2.3).

При высотном термобарическом поле южного типа можно выделить две траектории циклонов данного типа:

1. Циклоны, перемещающиеся из районов Черного и Каспийского морей к северо – востоку и к северу на районы Обской губы и полуострова Ямал;
2. Циклоны, перемещающиеся из районов Средиземного и Черного морей к северо – востоку на Карское море.

Высотное термобарическое поле образуется холодной глубокой ложбиной над Западной Европой и Прибалтикой и высотным теплым гребнем над Уралом и западной Сибирью. Высотная фронтальная зона вытянута в меридиональном направлении.

Давление в центре циклонов составляет 985 – 995 гПа. Падение давления в передней части может составлять от 2 до 9 гПа/3ч, но чаще всего бывает 4 – 5 гПа/3ч. Рост давления в тыловой части циклона 5 гПа/3ч, но может достигать 11 гПа/3ч.

Сильные ветры при южных циклонах наблюдаются в передней части циклонов. Скорость перемещения которых составляет 40 км/ч.

Было отмечено, что на пересечении траекторий всех типов циклонов создается так называемая «зона угрозы» для усиления ветра.

2.3 Методические основы анализа и прогноза возникновения сильного ветра и шквала

Для прогноза возникновения шквалов можно применить метод Г.Д.Решетова, который рекомендован в качестве основного при прогнозе шквалов на севере ЕТР, как показавший лучшую оправдываемость и наиболее физически обоснованный и не требующий большого времени для расчета.

Прогноз шквала по этому методу включает два этапа:

- выявление синоптических условий, благоприятных для развития шквала;
- расчет термических параметров.

Если по данным анализа аэросиноптических материалов ожидаются благоприятные для развития шквала условия, то производятся термодинамические расчеты.

По прогностическим кривым температуры и влажности, построенным на время ожидаемого прохождения холодного фронта, определяются следующие метеорологические элементы и параметры:

$$\Delta T = T_{\text{макс}} - T_{\text{см}} \quad (2.1)$$

где ΔT - разность между максимальной температурой воздуха у земли и нулевой температурой смоченного термометра, °C;

$T_{\text{макс}}$ - ожидаемая максимальная температура воздуха у земли непосредственно перед прохождением холодного фронта (волны, ложбины) до начала дождя, °C;

$T_{\text{см}}$ - нулевая температура смоченного термометра $T_{\text{см}}$, приведенная влажноадиабатически к уровню земли, °C;

Нулевую температуру смоченного термометра определяют следующим образом. Фиксируют точки пересечения нулевой изотермы с прогностическими кривыми температуры T и точки росы T_d . В середине отрезка АВ находят точку С, от которой влажноадиабатически опускаются вниз до значения давления на уровне моря. В точке D определяют значение температуры в нисходящем потоке, которое и будет нулевой температурой смоченного термометра.

$$\Delta T_{3-500} = T_{\text{макс}} - T_{500} \quad (2.2)$$

где ΔT_{3-500} разность температуры в слое земля – 500гПа, °C;

T_{500} – температура воздуха на уровне 500 гПа, °C

Схема расчета параметра ΔT :

- кривая стратификации температуры;
- кривая точки росы;
- влажная адиабата.

Найдем сумму отклонений температуры на кривой состояния T' и температуры на кривой стратификации T на уровнях 850, 700, 600 и 500 гПа:

$$\sum_{850}^{500} (T' - T) = (T' - T)_{850} + (T' - T)_{700} + (T' - T)_{600} + (T' - T)_{500} \quad (2.3)$$

Определим среднюю скорость ветра в слое земля – 500 гПа:

$$\bar{V} = \frac{V_3 + V_{850} + V_{700} + V_{500}}{4} \quad (2.4)$$

где $V_3, V_{850}, V_{700}, V_{500}$ модули скорости ветра у земли и на уровнях 850, 700, 500 гПа, м/с.

По графику, представленному на рис. 2.4 определяется скорость ветра при шквале.

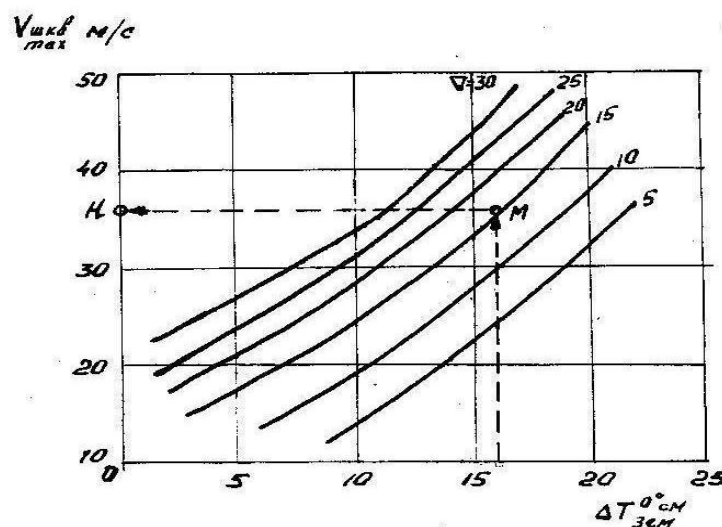


Рис. 2.4. График для прогноза скорости ветра при шквале [10, с. 99]

Возможности использования данных наблюдений ИСЗ. Анализ карт погоды не дает полного представления о размерах и характере облачной системы в зоне приближающегося к пункту прогноза циклона или фронта. По данным наблюдений на нескольких метеостанциях трудно судить о горизонтальных и вертикальных размерах облачной системы, о наличии в ней кучево – дождевых облаков и связанных с ними явлениях погоды. Информация со спутника может оказать существенную помощь синоптику при прогнозе конвективных явлений, в частности, гроз и шквалов.

Мощные кучево – дождевые облака, порождающие шквалы и смерчи, хорошо прослеживаются на изображениях, получаемых с космического спутника. Чаще всего гряды кучево – дождевой облачности образуются в летний период на холодных фронтах или тыловой части циклонов, где они ассоциируются с вторичными холодными фронтами.

На телевизионных снимках ИСЗ мощные кучево-дождевые облака имеют вид ярко – белых однородных пятен, которые часто имеют резкую границу с одной стороны и шлейф перистой облачности с другой.

На инфракрасных снимках кучево – дождевые облака представлены ярко-белыми пятнами с хорошо выраженными границами. Наличие наковальни делает границы менее резкими и тон по краям менее ярким.

Иногда шквалы располагаются вдоль облачных линий неустойчивости или за облачной полосой активного, чаще холодного фронта.

Облачные полосы, связанные с предфронтальной линией шквалов, располагаются в теплом воздухе параллельно облачной полосе холодного фронта и часто бывают отделены от нее безоблачными зонами шириной 50-100 км. В облачной полосе линии шквалов часто имеются просветы. Наиболее интенсивные участки линии шквалов располагаются там, где на снимках видны яркие пятна кучево – дождевых облаков с наковальнями.

Облака зафронтальных линий шквалов имеют вид прерывистых спиралей. Они располагаются в тыловой части облачного вихря и состоят из кучево – дождевых и кучевообразных облаков. В зависимости от

интенсивности конвективных процессов ширина таких облачных полос составляет 50 – 200 км [4, с. 76].

Информация с ИСЗ может быть использована для прогноза шквалов с заблаговременностью до 36 часов. Использование информации со спутника заключается в следующем:

- 1.Снимки со спутника используются при анализе и прогнозесиноптического положения. Для этого проводят совместный анализ карт погоды и информации со спутника, что поможет уточнить положение фронтов, циклонов и их облачных систем;

- 2.Путем анализа снимков устанавливают наличие облачных образований, при которых отмечаются шквалы. Это облачные вихри, спирали, полосы и отдельные скопления мощных конвективных облаков. Анализируются территория в радиусе 500 – 1000 км от пункта прогноза;

- 3.Путем сравнения последних снимков с предыдущими определяют направление и скорость смещения облачных образований;

- 4.Определяют эволюцию синоптических объектов и их облачных образований. Об эволюции объектов судят по изменению размеров облачной системы, степени ее завихренности;

- 5.Экстраполируя текущий процесс на ближайшие 12 – 24 часа и согласуя ее с результатами анализа карт погоды, определяют примерное время прохождения облачных полос, спиралей и вихрей через пункт прогноза;

- 6.Шквалы и другие конвективные явления наблюдаются в большинстве случаев во вторую половину дня. Прогноз этих явлений составляется обычно по ночным и утренним картам погоды и снимкам со спутника, когда конвекция развита слабо или отсутствует совсем. Поэтому анализ снимков за предыдущие сутки позволяет выяснить вопрос – отмечались ли на фронте, приближающемся к пункту прогноза, конвективные облака или нет. Если на снимках были отмечены мощные конвективные облака в облачных спиральных, вихрях и полосах, то есть основания полагать, что эти облака разовьются на фронте и в текущие сутки, с ними будут связаны грозы, ливни и шквалы.

Если на ранних снимках на приближающемся к району прогноза фронте не было отмечено мощных конвективных облаков, то термодинамические условия для их развития неблагоприятны. Разовьются ли конвективные облака на фронте в день прогноза – ответ на этот вопрос нам дадут результаты термодинамических расчетов.

Проанализируем синоптическую ситуацию в каждом конкретном случае.

а) 25 апреля 2010 года в селе Усть – Цильма наблюдался юго – западный ветер со скоростью 11 м/с, порывы 26 м/с. Сильный ветер был вызван прохождением холодного фронта, связанного с юго – западным циклоном, центр которого 25.04 находился в районе острова Колгуев. 23-24.04 циклон со скоростью 30 – 40 км/ч перемещался по Вологодской, Архангельской областям в северо-восточном направлении. Давление в центре циклона быстро падало: 23.04 в 00 часов ВСВ составляло 993 гПа, 24.04 в 00 ч ВСВ 982 гПа, 25.04 в 12 ч ВСВ 976 гПа. Циклон находился в стадии максимального развития с хорошо развитой термобарической парой: по карте OT_{1000}^{500} в передней части циклона вдоль Урала был вытянут гребень тепла, адвекция тепла составила 18°/сутки; в районе Вологды, в тылу циклона располагалась ложбина холода, с адвекцией – 27°/сутки. Циклон прослеживался до уровня 500 гПа, а над центральными и северными районами Коми проходила ось струйного течения с максимальным ветром 25 – 30 м/с.

Основными причинами усиления ветра являлся динамический характер и значительный межуровенный обмен количеством движений (совпадение потоков прослеживалось до уровня 500 гПа);

б) 5 – 6 марта 2008 года сильный восточный ветер со средней скоростью 27 м/с в поселке Елецкий наблюдался в передней части обширного юго-западного циклона, перед теплым фронтом. В момент начала явления центр циклона располагался немного восточнее Сыктывкара и медленно, со скоростью 20 км/ч перемещался с юга на север. Давление в центре циклона было 980 гПа, максимальное падение давления в передней части циклона – 5.7 гПа/3ч максимальный рост в тыловой части 4.6 гПа/3 ч. Циклон – высокое

образование, прослеживающееся до уровня 500 гПа.

Днем 5 марта с архипелага Земля Франца Иосифа на акваторию Карского моря опустилось ядро антициклона с давлением в центре 1022 гПа. Максимальный порыв 35 м/с наблюдался вследствие повышения градиента давления при сближении усиливающегося антициклона и углубляющегося циклона: градиент давления у земли 2.8 гПа/100 км, на AT_{850} контраст температур 6°C/500 км.

Основные причины усиления ветра: динамический фактор, значительный межуровенный обмен количеством движений (совпадение потоков прослеживалось до AT_{500}), орография местности (меридиональное расположение Уральских гор);

в) 28.03.2007 на станции Елецкая наблюдался северный ветер со скоростью 24 м/с, порывы 31 м/с при прохождении вторичного холодного фронта «ныряющего циклона», в зоне которого отмечались значительные градиенты: контраст температуры у земли 10°C/500 км, на AT_{850} – 11°C/1000 км, барический градиент 3.8 гПа/100 км. Давление в центре циклона 981 гПа, рост давления в тыловой части циклона (12.5 гПа/3 ч) значительно превышал падение в передней части циклона (9.6 гПа/3 ч).

Активный частный циклон был образован на фронтальной волне и «подныривал» с острова Шпицберген через остров Новая Земля, крайние северо-восточные районы республики Коми на север Западной Сибири в систему расположенного там основного циклона (высокого барического образования, прослеживающегося до уровня 500 гПа). Скорость движения циклона 60 км/ч. В атмосфере с 24.03.07 над Европой располагался обширный высотный антициклон, а над республикой Коми ВФЗ имела квазимеридиональную направленность. Расположение циклона над ВФЗ способствовало его углублению у поверхности земли.

Основные причины ветра: динамический фактор, значительный межуровенный обмен количеством движений (совпадение потоков прослеживалось до уровня 300 гПа), орография местности;

г) 12.01.06 сильный ветер (юго – восточный 25м/с, порывы 30 м/с) в Воркуте наблюдался на восточной периферии западного циклона, перемещавшегося через север Скандинавии на полуостров Канин Нос. Давление в центре составило 972 гПа, скорость перемещения 50 км/ч. Температура теплого сектора от 0 до 2°C, контраст температуры в зоне теплого сектора у земли 23°C/500 км, на АТ₈₅₀ 20°C/500 км. Градиент давления 6.3 гПа/100 км. Максимальное падение давления в передней части циклона 4.8 гПа/3 ч, рост давления в тыловой части 6.2 гПа/3 ч. Основные причины усиления ветра: нарастание градиента давления у поверхности земли вследствие приближения циклона к усиливающемуся Сибирскому антициклону, значительный термический градиент и орография местности;

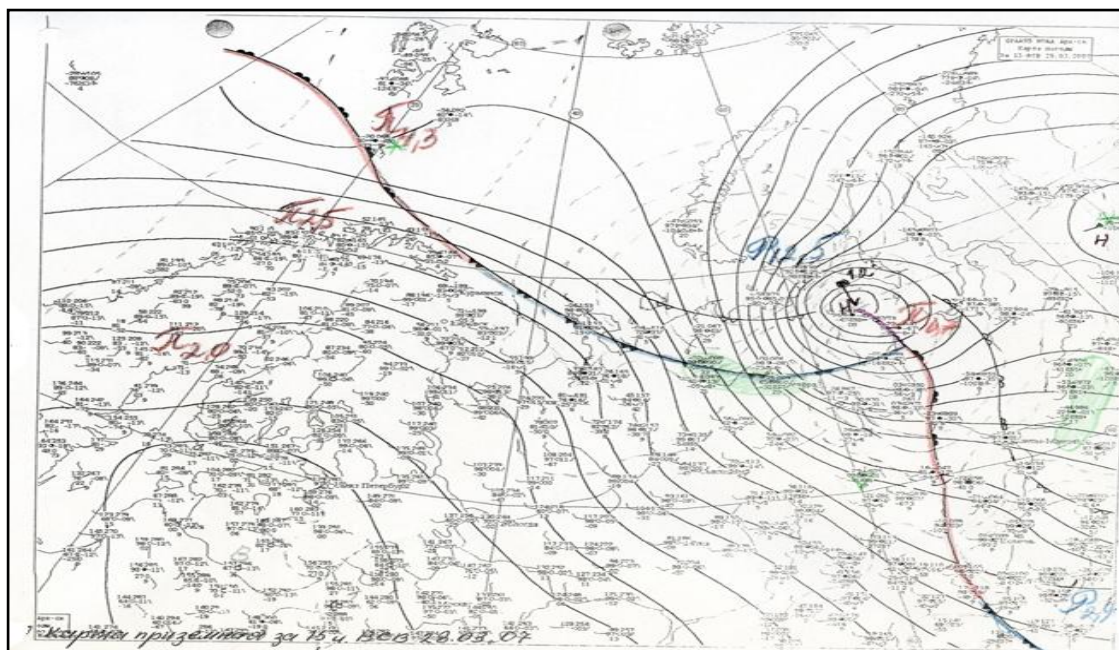


Рис. 2.5. Приземная карта³

д) 10.08.10 шквалистое усиление ветра при грозе в Вуктыле (32 м/с) наблюдалось в теплом секторе циклона с центром в районе острова Колгуев. На снимке ИСЗ видно укрупнение зоны плотной кучевой облачности, увеличивается ее яркость, а размытые очертания облачного массива говорят о появлении зоны плотной перистой облачности и растущей наковальни кучево-

³ Рисунок получен в процессе исследования

дождевых облаков. Дневной прогрев составил 30 °С, гроза со шквалом прошла в послеполуденные часы, вследствие значительной термической неустойчивости, при этом орография местности (предгорье Урала) способствовала замедлению движения кучево-дождевых облаков (рис 2.5).

В атмосфере с 18.07.06 у поверхности земли над Скандинавским полуостровом располагался обширный антициклон, а на востоке ЕТР развивалась активная циклоническая деятельность; при этом циклоны перемещались вдоль меридиана 50° в.д, строго с юга на север, то есть в циркуляцию были вовлечены очень влажные и перегретые воздушные массы, перемещающиеся из субтропиков Каспийского моря.

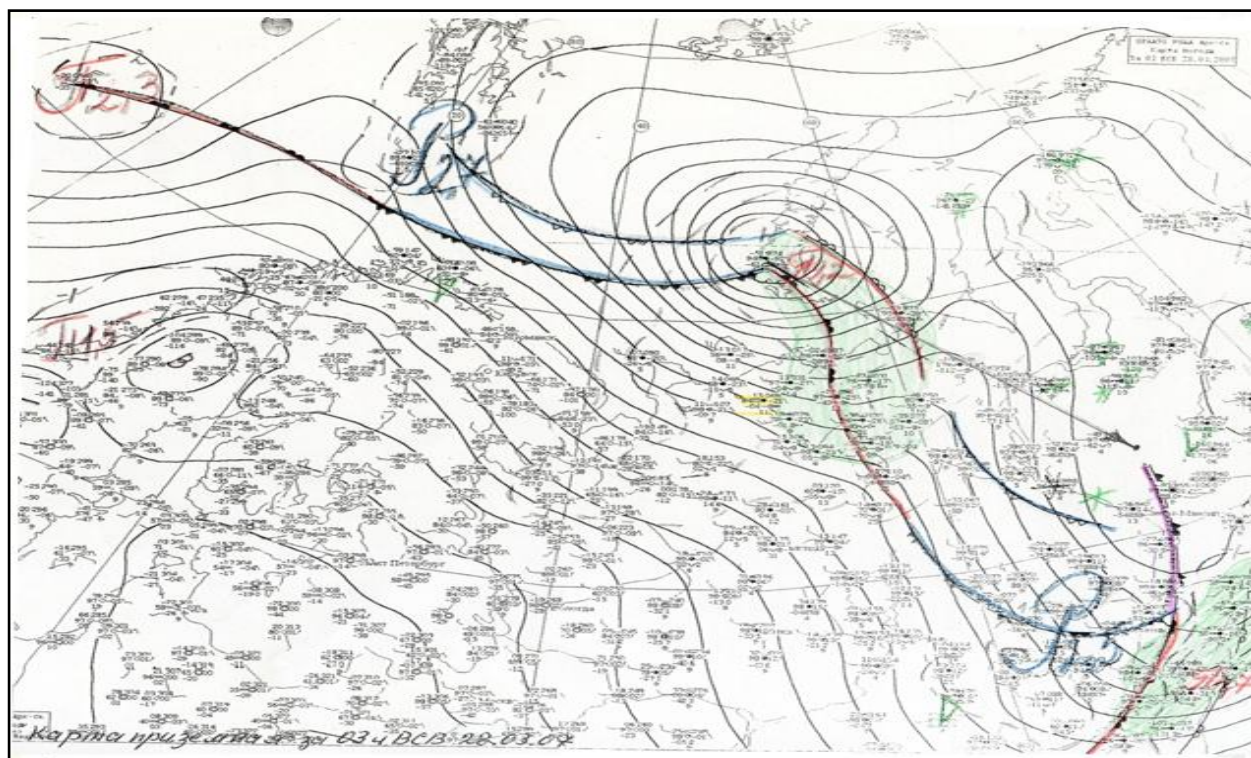


Рис.2.6. Карта приземная⁴

Контраст температуры в зоне холодного участка фронта составил у поверхности земли 18°С/500 км, на АТ₈₅₀ 13°С/500 км, температура теплого сектора 28 – 31°С, T_d=17 – 19°С. Так как холодный участок фронта находился в параллельных потоках на высоте и перемещался очень медленно, на нем происходил активный процесс волнообразования.

⁴ Рисунок получен в процессе исследования

Сильное шквалистое усиление ветра связано с образованием мощного грозового облака вблизи вершины волны, в результате развития термической конвекции на фоне упорядоченного подъема воздуха, вызванного конвергенцией воздушных потоков в зоне фронта, вблизи вершины волны (рис. 2.6).

ж) 28.07.05 на метеостанции Левкинская при прохождении холодного фронта с волнами наблюдалась сильная гроза со шквалом 28 м/с и выпадением града.

В районе Ботнического залива и северной части Скандинавии с 20.07.05 стационарировала обширная циклоническая депрессия, а над районами Западной Сибири располагалась малоподвижная область повышенного давления. Циклон прослеживался до верхних слоев тропосферы, тем самым был нарушен западно-восточный перенос воздушных масс. С 20.07 над республикой Коми установился южный, юго – западный вынос воздушных масс. При этом наблюдалась очень жаркая погода – максимальные температуры воздуха повышались до 32°C.

28.07.05 циклон начал углубляться и медленно перемещаться с севера Скандинавии к полуострову Канин Нос, вместе с ним смещалась и система фронтов. Так как скорость перемещения фронтов была очень маленькой (20 км/ч), а контраст температуры в зоне холодного фронта составил 12°C на 500 км, то на холодном фронте начался процесс активного волнообразования. Мощное грозовое облако вблизи Левкинской образовалось при прохождении вершины волны, при очень высокой температуре воздуха у поверхности земли (29°C), то есть в результате развития термической конвекции на фоне упорядоченного подъема воздуха, вызванного конвергенцией воздушных потоков в зоне фронта вблизи вершины волны.

Глава 3 Суточный и годовой ход характеристик ветра

Наиболее благоприятные условия для суточного хода ветра бывают:

- а) в неустойчиво стратифицированных воздушных массах;
- б) в теплое время года;
- в) при небольшой облачности;
- г) при малых барических градиентах.

По высоте суточный ход проявляется преимущественно в нижних 500 м над поверхностью земли, но может обнаружиться до высоты 1 – 2 км.

На материке летом при безоблачной погоде, особенно в южной и западной частях антициклона, наблюдается резко выраженный суточный ход скорости ветра. При этом барические градиенты могут быть небольшими и не испытывать существенных изменений от ночи ко дню. В дневное время, когда в нагреваемом от поверхности Земли воздухе вертикальный градиент температуры до высоты 1 км приближается к сухадиабатическому, скорость ветра при барических градиентах 2 гПа на 111 км достигает скорости градиентного ветра. Когда же при значительном прогреве воздуха устанавливаются вертикальные градиенты температуры больше сухадиабатических, скорость действительного ветра может превышать скорость градиентного ветра в 2 – 3 раза. Ночью, когда вследствие выхолаживания образуются приземные инверсии, при малых барических градиентах скорость действительного ветра бывает в 2 – 3 раза слабее скорости градиентного.

Суточная амплитуда скорости ветра у поверхности Земли прямо пропорциональна суточной амплитуде температуры воздуха. при амплитуде температуры 15°C и больше скорость ветра (при одних и тех же барических градиентах в течение суток) от ночи к середине дня может увеличиваться на 10 м/с и более.

Зимой и ранней весной, когда приземные инверсии имеют большую вертикальную протяженность или переходят непосредственно в инверсию

оседания в дневное время, скорость ветра, как ночью, так и днем приблизительно в 2 раза меньше градиентной скорости. Суточная амплитуда скорости ветра минимальна, когда имеется подинверсионная облачность и вследствие этого суточный ход температуры оказывается малым. В циклоне при наличии облачности и более значительных барических градиентов, чем в антициклоне, суточный ход скорости ветра трудно обнаружить и в прогнозе его можно не учитывать.

Усиление ветра в дневное время весной и летом при безоблачной погоде связано с развитием вертикального перемешивания из-за увеличения вертикального градиента температуры.

В области циклона при сплошной низкой облачности и больших барических градиентах суточный ход скорости ветра так же мал, как и суточный ход температуры. При небольших барических градиентах и значительных разрывах облачности суточный ход скорости ветра увеличивается и должен учитываться при прогнозе [4, с. 54].

Высота обращения суточного хода ветра, то есть высота, на которой один ход сменяется другим, зависит от коэффициента турбулентности. Вертикальная протяженность слоев, в которых наблюдается противоположный суточный ход, меняется в зависимости от времени года. Летом она достигает до 300 м и снижается до 20 м при наличии зимних инверсий.

Направление ветра в течение суток так же испытывает регулярные изменения. В условиях установившегося режима погоды в нижнем слое воздуха ветер с утра до 13 – 14 часов одновременно с увеличением скорости поворачивает несколько вправо, после полудня он начинает поворачивать в обратную сторону, возвращаясь к вечеру к исходному направлению. В вышележащих слоях наблюдается обратная картина.

Наряду с суточными колебаниями отмечается также годовой ход скорости ветра и его направления, который сильно зависит от климатических особенностей района и местных причин

Средняя месячная скорость ветра за исследуемый период (табл. 3.1)

невелика и составляет 2,1 м/с. Наибольшее среднее месячное значение скорости ветра наблюдалось в ноябре 2005 года и составила 2,9 м/с, а наименьшее - августе 2006 года и составила 1,5 м/с.

Таблица 3.1

Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с)⁵

месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Иссл.пер.	2,3	2,0	2,4	2,1	2,1	2,1	1,7	1,7	2,1	2,2	2,4	2,3	2,1
Многол.	4,2	4,1	4,2	3,8	4,1	3,9	3,2	3,2	3,7	4,3	4,5	4,4	4,0

Как видно из табл. 3.1, среднегодовая скорость ветра за исследуемый период составила 2,1 м/с, что на 1,9 м/с меньше средних многолетних данных. Среднемесячная скорость ветра за исследуемый период была меньше средней многолетней в среднем на 1,8 м/с. Максимальная скорость ветра как за исследуемый, так и за многолетний период наблюдалась в ноябре месяце и составила 2,4 м/с и 4,5 м/с соответственно. Минимальная же скорость ветра наблюдалась в июле – августе и составила 1,7 м/с и 3,2 м/с соответственно (рис. 3.1).

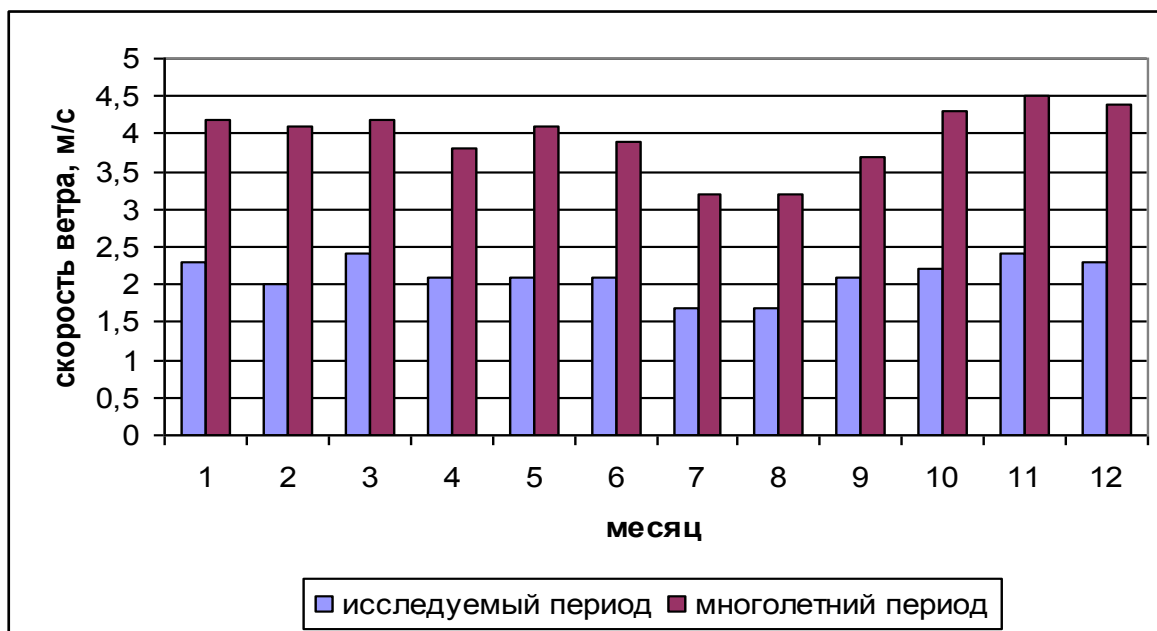


Рис. 3.1. Сравнительный график годового хода скорости ветра⁶

⁵ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

⁶ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

В годовом ходе отчетливо выражена смена преобладающих румбов ветра: в холодный период преобладают южные и юго-западные ветры, в теплый – ветры северных румбов (рис.3.2).

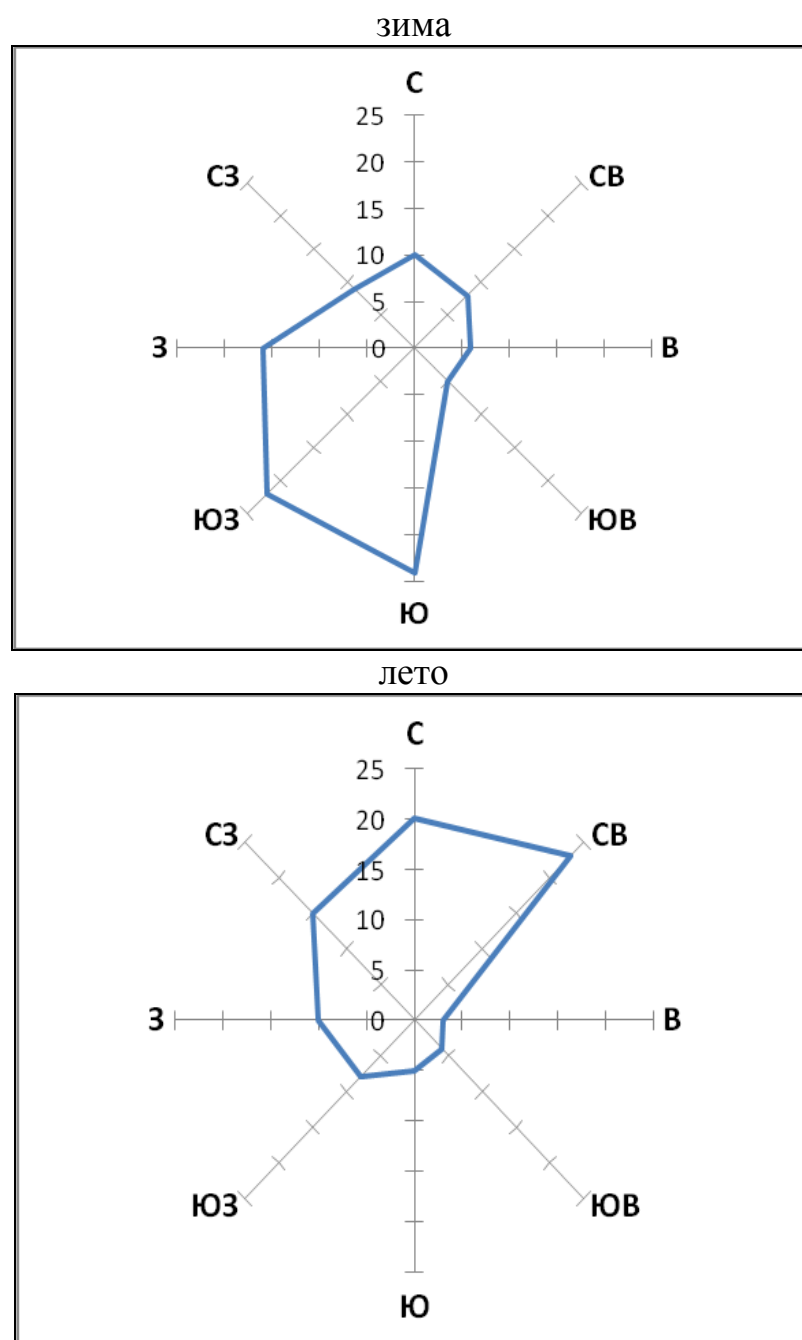


Рис. 3.2. Роза ветров (зима,лето)⁷

Что касается повторяемости различных направлений ветра, то в республике Коми, как за исследуемый период, так и за многолетний преобладают южное и юго-западное направления ветра. Как видно из рис. 3.3,

⁷ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

данные за исследуемый период практически не отличаются от многолетних данных.

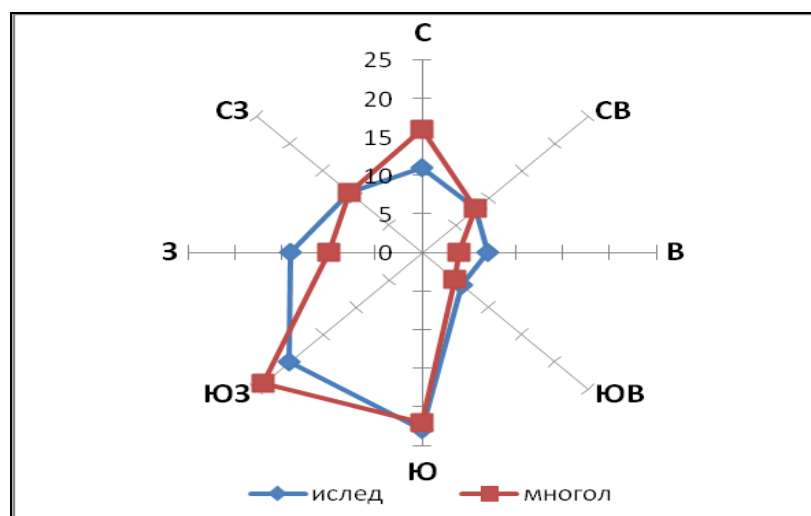


Рис. 3.3. Роза ветров (год)⁸

Меньше всего как за исследуемый период, так и за многолетний наблюдалось юго-восточное направление ветра (6% и 5% соответственно). Частота возникновения сильных ветров и шквалов в республике Коми неодинакова по территории. На картах повторяемости ветра особо опасной силы и шквала видно, что за рассматриваемый период чаще всего ветер со скоростью 25 м/с и более наблюдался на северо-востоке республики Коми, а шквалы наблюдались в основном по югу республики.

Таблица 3.2

Повторяемость сильного ветра и шквала по годам⁹

Год	Количество случаев	
	Сильный ветер	шквал
2000	1	0
2001	0	0
2002	0	0
2003	1	0
2004	0	0
2005	1	1
2006	2	1

⁸ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

⁹ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Продолжение таблицы 3.2

2007	3	1
2008	1	0
2009	0	0
2010	2	2
Всего	11	5

Такое неравномерное распределение ветра по территории указывает на большое влияние орографии – горный хребет, протянувшийся в 70 км восточнее Воркуты, ориентирован с юго – запада на северо – восток. Влияние рельефа отражается и на повторяемости сильного ветра определенного направления (табл. 3.2).

Таблица 3.3

Повторяемость сильных ветров по направлениям¹⁰

	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ	Всего
Число случаев	2	0	1	1	1	2	3	1	11
В % отобщего числа	18	0	9	9	9	18	28	9	100

За исследуемый период с 2000 по 2010 годы общее число случаев 11 сильных ветров и 5 шквалов, что в общем не так и много. В большинстве лет они не наблюдались вообще. Повторяемость сильных ветров по направлениям представлена в табл.3.3. и рис.3.4.

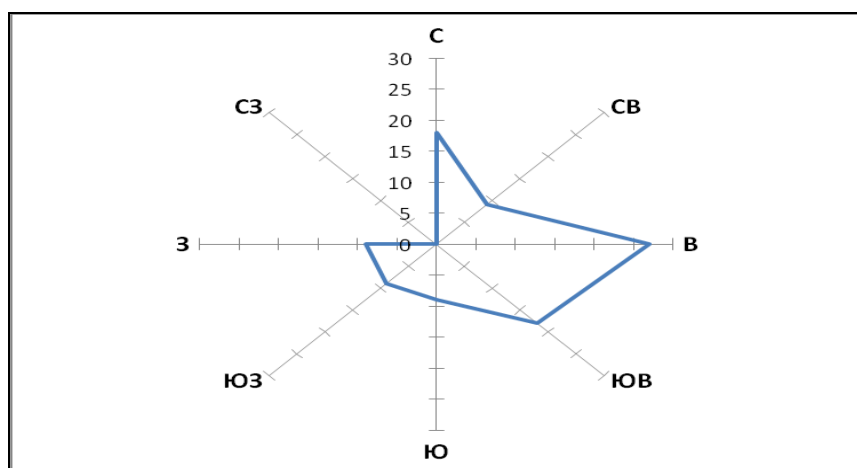


Рис. 3.4. Повторяемость направлений сильного ветра¹¹

¹⁰ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

¹¹ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Все случаи наблюдались с января по май. Преобладающее число случаев с сильным ветром в холодное время года объясняется активизацией циклонической деятельности в этот период.

Результаты повторяемости сильных ветров в годовом ходе приведены в табл.3.4.

Таблица 3.4

Повторяемость сильных ветров по месяцам¹²

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Всего
Число случаев	3	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	11
В % от общего числа	27	18	27	18	9	0	0	0	0	0	0	0	100

Наибольшая повторяемость сильных ветров наблюдалась в январе по март, со снижением их количества к маю и абсолютным нулем с июня по декабрь.

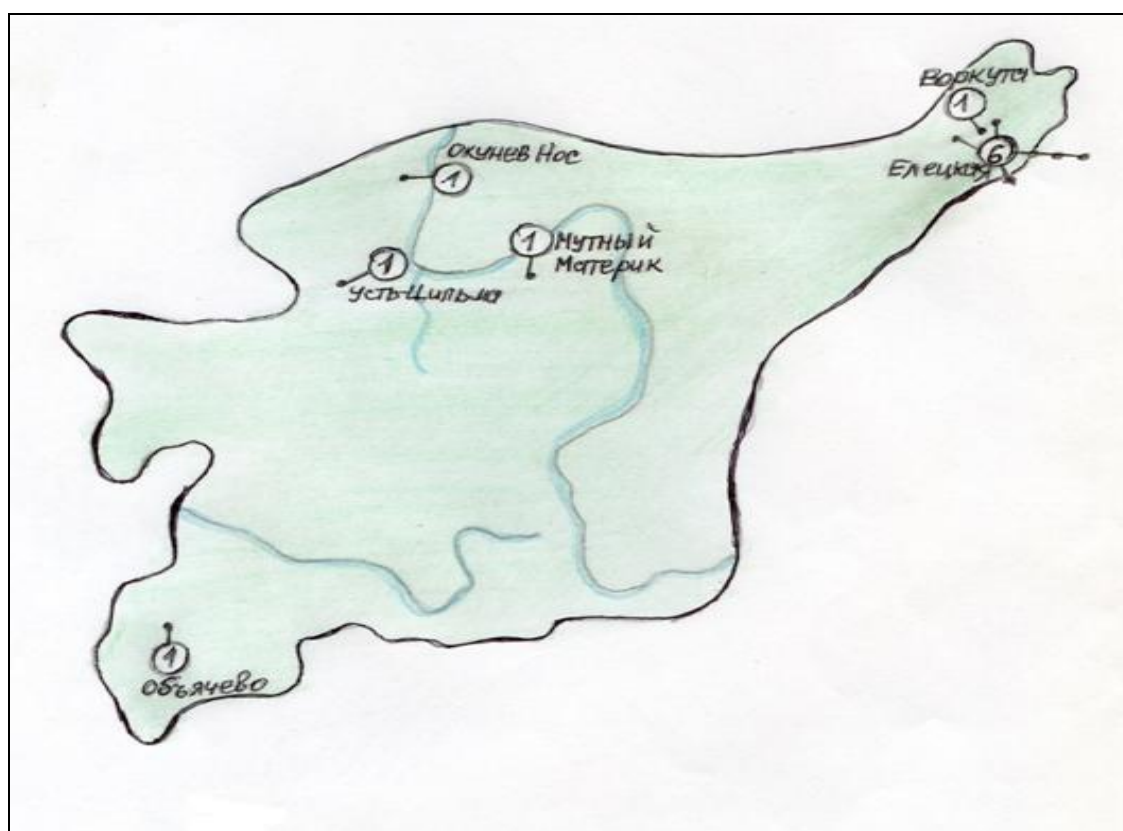


Рис. 3.5. Карта повторяемости сильных ветров на территории республики Коми в период 2000 – 2010 гг. Роза ветров¹³

¹² Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

¹³ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Преобладающее число случаев с сильным ветром в холодное время года объясняется активизацией циклонической деятельности в этот период.

Так как шквалы связаны с конвективными явлениями, то в годовом ходе они преобладают в теплое время года, что наглядно видно из табл.3.5 рис. 3.5.

Таблица 3.5

Повторяемость шквалов по месяцам¹⁴

	Июнь	Июль	Август	Всего
Число случаев	1	3	1	5
В % от общего числа	20	60	20	100

В годовом ходе шквалы над сушей отмечаются обычно в теплое полугодие (высокая температура и влажность) [4, с. 157]. В суточном ходе шквалы наиболее часты во второй половине дня, когда конвективная облачность достигает наибольшего развития

Все шквалы наблюдаются во вторую половину дня с 14 до 19 часов, что связано с суточным ходом конвективной облачности. Большинство шквалов сопровождалось грозами и ливнями, град наблюдался однажды. Максимальная температура воздуха у земли составляла 27 – 31 °С.

¹⁴ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Заключение

Республика Коми расположена на северо-восточной окраине Восточно-Европейской равнины, западнее Уральского горного хребта. Протяженность территории с севера на юг - 660 километров, с запада на восток - 660 километров.

В ходе работы изучены условия возникновения сильного особо опасного ветра и шквалов, проведен синоптико-статистический анализ возникновения сильных ветров и шквалов на территории республики Коми. Составлены распределения повторяемости явлений по территории и в зависимости от времени года.

Выводы:

1. Климат республики Коми умеренно-континентальный: лето короткое и прохладное, зима длинная и холодная с устойчивым снежным покровом. Особенностью является частая смена воздушных масс, с развитой циклонической деятельностью зимой и осенью, летом она ослабевает. При вторжения арктического воздуха, температура воздуха зимой сопровождается ясной морозной погодой и понижается до $-48-55^{\circ}\text{C}$;

2. Возникновению особо сильных ветров со скоростями ≥ 25 м/с подвержены северо-восточные районы республики Коми, что хорошо согласуется с местоположением «зоны угрозы» усиления ветра для всех типов циклонов. Огромную роль в этом играет орографический фактор – меридиональное расположение Уральских гор;

3. Средняя месячная скорость ветра за исследуемый период невелика и составляет 2,1 м/с., что меньше средней многолетней на 1,8 м/с. Наибольшее среднее месячное значение скорости ветра наблюдалось в ноябре 2005 года и составила 2,9 м/с, а наименьшее - августе 2006 года и составила 1,5 м/с.;

4. Максимальная скорость ветра как за исследуемый, так и за многолетний период наблюдалась в ноябре месяце и составила 2,4 м/с и 4,5 м/с соответственно. Минимальная же скорость ветра наблюдалась в июле – августе

и составила 1,7 м/с и 3,2 м/с соответственно;

5. В годовом ходе отчетливо выражена смена преобладающих румбов ветра: в холодный период преобладают южные и юго-западные ветры, а в теплый – ветры северных румбов;

6. При анализе повторяемости различных направлений ветра, как за исследуемый, так и за многолетний периоды, преобладают южное и юго-западное направления ветра. Чаще всего ветер со скоростью 25 м/с и более наблюдался на северо-востоке республики Коми, а шквалы наблюдались в основном по югу республики.

Список использованной литературы

1. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии. – М.: Издательский дом «ДРОФА», «ДиК», 1997. – 116 с.
2. Баранов А.М. Авиационная метеорология / А.М.Баранов, Н.И.Мазурин, С.В.Солонин, И.А.Янковский. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 287 с.
3. Богаткин О.Г. Еникеева, В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации / СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 272 с.
4. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Авиационные прогнозы погоды: учеб. пособие. - СПб.: Кометех, научно – производственное предприятие, 2007. – 270 с.
5. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. - СПб.: РГГМУ, 2009. – 338 с.
6. Воробьев В.И. Практикум по синоптической метеорологии. – СПб.: РГГМУ, 2006. –303 с.
7. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
8. Горбатова И.В. Анализ сильных ветров и шквалов на территории республики Коми за 1983 – 1996 гг. - Сыктывкар: издание ЦГМС Коми, 1996. – 17 с.
9. Гуральник И.И. Метеорология. / Дубинский Г. П., Мамиконова С.В.– Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 416 с.
10. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 696 с.
11. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 295 с.
12. Кричак О.Г. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеизда, 1956. – 532 с.
13. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.

14. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам Выпуск 3, Часть 1, метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 299 с.
15. Практикум по синоптической метеорологии / под ред. В.И.Воробьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 288 с.
16. Приходько М.Г. Справочник инженера-синоптика. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 328 с.
17. Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами. – М.: изд. АНО «Метеоагентство Росгидромета», 2009. – 109 с.
18. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 302 с.
19. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 2 / Отв.ред.Н.В.Сагатовский. – Л: Гидрометеиздат, 1965. – 492 с.
20. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, часть I. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 702 с.
21. Справочник по климату СССР. Выпуск 1, часть 3, Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 308 с.
22. Тверской П.Н. Курс метеорологии (физика атмосферы). - Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 700 с.
23. Хромов С.П., Мамонтов Л.И. издание третье перераб и допол. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 567 с.
24. Швер Ц.А. Климат Сыктывкара. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 190 с.

Республика Коми расположена на северо-восточной окраине Восточно-Европейской равнины, западнее Уральского горного хребта. Протяженность территории с севера на юг - 660 километров, с запада на восток - 660 километров.