



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 «Ветер его влияние на полет воздушных судов»

Исполнитель Ставничук В.С.

Руководитель кандидат военных наук, доцент Голушко М.В.

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С. Н.

«17» июля 2016 г.

Филиал Российского государственного гидрометеорологического университета в г. Туапсе	
НОРМОКОНТРОЛЬ ПРОЙДЕН	
«24» мая 2016 г.	
подпись	расшифровка подписи

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 «Ветер его влияние на полет воздушных судов»

Исполнитель Ставничук В.С.

Руководитель кандидат военных наук, доцент Голушко М.В.

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С. Н.

«____» _____ 2016 г.

Туапсе
2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1 Высотные ветры в атмосфере и их влияние на полет воздушных судов в условиях Краснодарского Причерноморья	6
1.1 Физико-географическая характеристика Черноморского побережья Краснодарского края.....	6
1.2 Факторы формирования ветров струйных течений и их влияние на полет воздушных судов	8
Глава 2 Методы измерения параметров ветра струйных течений.....	21
2.1 Аэрологические методы и технические средства измерения параметров ветра.....	21
2.2 Существующие системы измерения параметров ветра и тенденция их развития.....	26
Глава 3 Анализ струйных течений Краснодарского Причерноморья по данным аэрологического зондирования.....	34
3.1 Тропосферные струйные течения.....	34
3.2 Стратосферные струйные течения	47
Заключение.....	54
Список использованной литературы.....	56

Введение

По определению Всемирной метеорологической организации «Струйное течение – это сильный узкий поток с почти горизонтальной осью в верхней тропосфере или нижней стратосфере, характеризующийся большими вертикальными и горизонтальными сдвигами ветра и одним или более максимумами скорости». В струйных течениях сконцентрирована максимальная кинетическая энергия атмосферы.

Нижний предел скорости ветра струйных течений составляет 30 м/с, и выбран с учетом того, что ветер, превышающий 100 км/ч, оказывает заметное влияние на путевую скорость и другие параметры полета самолетов, летающих в зоне струйных течений.

В послевоенные годы в связи с требованиями авиации струйные течения изучались с неослабевающим интересом. Им посвящены сотни исследований. Изучаются такие характеристики струйных течений, как пространственная структура, условия формирования и перемещения их, связь с атмосферными фронтами и барическими образованиями, вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра, вертикальные движения и изменения высоты тропопаузы, разрывы тропопаузы, влияние орографии на структуру струйных течений, облачность и турбулентность в струйных течениях и т. п.

Такой интерес к струйным течениям объясняется не только требованиями авиации, но и тем, что высотные фронтальные зоны со струйными течениями занимают важное место в системе общей циркуляции атмосферы. Ибо здесь происходит как наиболее интенсивный горизонтальный перенос, так и вертикальные перемещения воздуха. Высотные фронтальные зоны и струйные течения, непрерывно преобразовываясь вследствие цикло- и антициклонической деятельности, обеспечивают зональный и меридиональный обмен воздуха в планетарном масштабе. По своей природе струйные течения создают благоприятные условия для авиации, но могут и угрожать безопасности полетов. Дальнейшее его изучение – все еще сохраняющаяся

проблема и с этим связан выбор данной темы ВКР.

Актуальность работы предопределяется именно тем, что струйные течения являются противоречивыми в своих проявлениях по отношению к воздушным судам и их изучение представляется собой нерешенную проблему.

Объектом исследования является ветер струйных течений и его проявления, влияющие на полеты воздушных судов.

Предмет исследования: особенности структуры струйных течений тропосферы и стратосферы.

Цель работы – изучение пространственной структуры струйных течений Краснодарского Причерноморья и их параметров по данным аэрологического зондирования.

Задачами данной работы являются:

- рассмотреть особенности проявления струйных течений в тропосфере и стратосфере и их влияния на полет воздушных судов;
- рассмотреть основные методы измерения параметров ветра в струйных течениях;
- на основе имеющейся базы данных проанализировать параметры тропосферных и стратосферных струйных течений.

Структура работы: ВКР состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы.

В первой главе описаны физико-географические условия района зондирования, природа струйного течения, его влияние на полет воздушных судов.

Во второй главе рассматриваются методы и средства обнаружения параметров ветра и их измерения.

В третьей изложены результаты исследований струйных течений тропосферы и стратосферы Краснодарского Причерноморья.

Информационной и методической базой исследования послужили метеорологические данные таблиц аэрологического зондирования ТАЭ-3 за 2013, 2014 и 2015 годы; учебники по авиационной метеорологии, синоптике,

климатологии и аэрологии; учебники и руководства по прогнозам для авиации.

Общий объем работы составляет 58 листов .Работа содержит 32 рисунка и 13 таблиц..В списке литературы - 25 наименований.

Глава 1 Высотные ветры в атмосфере и их влияние на полет воздушных судов в условиях Краснодарского Причерноморья

1.1 Физико-географическая характеристика Черноморского побережья Краснодарского края

Большая часть Черноморского побережья занята отрогами Главного Кавказского хребта. Это очень сложная горная система. Гора Агой, восточнее Геленджика, имеет высоту 996 м. У Туапсе вершины Главного Кавказского хребта отступают от берега на 10 – 20 км и имеют высоту 1000 – 2000 м. В Сочинском районе имеет место заметное повышение и расширение всего горного массива. Высоты хребта 2200 – 2700 м. Вершина Оштен (2803 м) и Фишт (2852 м) достигают снеговой линии. Гора Чугуш (восточнее Сочи) имеет высоту 3240 м. Далее, к юго-востоку, в пределах Абхазии, Большой Кавказ становится еще выше и представляет трудно доступную горную страну, расчленённую узкими и глубокими долинами и каньонами рек.

Горные хребты Черноморского Кавказа защищают северную часть побережья Черного моря от вторжения холодного воздуха. В то время, как в Предкавказье, средние январские температуры отрицательные. Холодный воздух с северо-востока проникает на побережье только в тех случаях, когда его вертикальная мощность превышает высоту гор [1, с.7].

Восточный берег Черного моря, где располагается Краснодарское Причерноморье, мало изрезан. Здесь нет глубоко вдающихся в море полуостровов, сравнительно мало заливов. Прибрежная часть Черного моря имеет значительные глубины. При малой изрезанности береговой линии и частой повторяемости сильных ветров создаются благоприятные условия для развития сильного волнения моря.

Течения в Чёрном море, как и в большинстве морей и океанов северного полушария, образуют циклонический круговорот (направленный против часовой стрелки). Этот круговорот называется Основным Черноморским течением. Он обуславливается главным образом статистически

преобладающими ветрами. У Кавказского побережья Основное течение отчетливо выражено во все сезоны года. Оно направлено параллельно берегу, с юга-востока на северо-запад, подвергаясь в прибрежной полосе влиянию местного ветра и очертаниям берега и дна. При долговременном действии ветров западного, северо-западного и северных румбов возникают кратковременные перебои Основного течения. В это время в береговой зоне наблюдается водный поток по часовой стрелке.

Туапсинский район расположен в средней части Краснодарского Причерноморья. Район занимает 91 км побережья от села Шепси до села Бжид Джубгского сельсовета. Ширина района, с его горной частью, достигает 68 км (от берега до села Афпостик Шаумянского сельсовета).

Территория района занята главным Кавказским хребтом и его отрогами. Основные вершины отступают от берега на 10-20 км и имеют высоты 600-900 м над уровнем моря. Вечно снежных вершин и ледников нет. Снежный покров даже на самых высоких горах неустойчив и неглубок. Он держится сравнительно короткое время. Только в ущельях снег достигает глубины 6 м.

Склоны гор изрезаны многочисленными глубокими ущельями и балками, по дну которых текут ручьи и реки. Они сливаются в более глубокие реки, впадающие в Черное море.

Климат Туапсинского района находится под воздействием двух основных факторов: теплого незамерзающего моря и главного Кавказского хребта, защищающего побережье от холодных ветров. Климат района является переходным от средиземноморского к влажному субтропическому. Температура воздуха имеет хорошо выраженный годовой ход с максимумом в августе и минимумом в феврале. Длительность безморозного периода составляет 255 дней. Год очень трудно разграничить на 4 сезона. Поэтому удобно делить год на 2 периода: теплый (с апреля по октябрь) и холодный (с ноября по март).

Заморозки прекращаются в конце марта. Средняя месячная температура воздуха увеличивается с марта по август. Туманы бывают в конце холодного и

в начале теплого периода (февраль-июнь). Максимум туманов на кавказском побережье наблюдается в конце зимы и весной. Зимой, при холодных северо-восточных ветрах, когда температура воздуха понижается до 0°C , и ниже, на севере Черноморского побережья Кавказа наблюдается интенсивный туман испарения. Весной он повторяется редко и интенсивность его уменьшается.

Штормы наблюдаются преимущественно в холодное время. В теплый период года хорошо выражена бризовая циркуляция ветра. Отличительной особенностью климата является большая повторяемость ливней и гроз. С ливневыми осадками связаны наводнения на большинстве рек кавказского побережья. Питаются реки, в основном, за счет осадков и в меньшей мере тающего снега и льдов в горах.

1.2 Факторы формирования ветров струйных течений и их влияние на полет воздушных судов

В атмосфере на всех высотах существует и действует ветер. По отношению к летящему самолету ветер представляет собой переносное движение. При наличии ветра направление движения самолета относительно земной поверхности не совпадает с продольной осью самолета, т.е. самолет сносит с того курса, каким этот самолет летит [25, с. 61].

Выделяют следующие факторы, влияющие на изменение параметров ветра у поверхности Земли:

1. Влияние неровностей подстилающей поверхности на ветер. Это влияние определяется из известных физических зависимостей и эмпирических данных о соотношении между градиентным и действительным ветром у поверхности земли. Действительный ветер у поверхности Земли, благодаря силе трения, отклоняется от изобар в сторону низкого давления. Скорость его вследствие трения в среднем меньше скорости градиентного ветра, но приблизительно пропорциональна барическому градиенту. Выше уровня трения, т.е. Выше 1 км над рельефом, действительный ветер приближается к

градиентному.

Над морем сила трения меньше, чем над сушей. Поэтому над морем направление и скорость действительного ветра всегда ближе к градиентному ветру, чем над сушей; над равнинной местностью действительный ветер ближе к градиентному, чем на холмистой. Можно считать, что в среднем величина угла между направлением ветра и касательной к изобаре в данном пункте составляет над морем 15° , над сушей на равнине 30° и в холмистой местности 45° . Скорость ветра над морем составляет приблизительно две трети (0,7) скорости градиентного ветра над сушей - около половины. Следовательно, если, например, циклон смещается с моря на сушу, то в одной и той же части этого циклона при одинаковых направлениях и густоте изобар ветер над сушей совершит поворот против часовой стрелки на 15° относительно ветра над морем, а скорость его уменьшится примерно на одну четверть.

При больших скоростях движения воздуха отклонение ветра от градиентного меньше, чем при малых, а в неустойчивых воздушных массах меньше, чем в устойчивых. Увеличение вертикального градиента температуры под влиянием прогрева воздуха от земной поверхности вызывает в теплое время года значительное увеличение скорости ветра днем по сравнению с его скоростью ночью;

2. Суточный ход скорости ветра в связи с суточным ходом температуры и стратификации. Суточный ход скорости ветра наиболее выражен летом на материке, при безоблачной погоде, особенно в южной и западной частях антициклонов. При этом барические градиенты могут быть весьма небольшими и не испытывать каких либо изменений от ночи ко дню.

Для случаев, когда южная часть Европейской территории России находится под влиянием южной периферии антициклона, установлена определенная зависимость суточного хода скорости ветра восточной четверти от вертикального распределения температуры и величины барических градиентов. Летом в дневное время, когда в нагреваемом от поверхности Земли воздухе вертикальный градиент температуры до высоты 1 км

приближается к 1° на 100м, скорость ветра при барических градиентах около 2 мб на 1° меридиана (111км) достигает скорости градиентного ветра. В случае же значительного перегрева воздуха, что наблюдается при еще меньших барических градиентах, скорость действительного ветра может превышать скорость градиентного ветра в 2-3 раза. Ночью в это же время года, когда вследствие выхолаживания образуются приземные инверсии, при малых барических градиентах скорость действительного ветра бывает в 2-3 раза слабее градиентного ветра.

Суточная амплитуда скорости ветра у поверхности земли прямо пропорциональна суточной амплитуде температуры воздуха. Если величина суточной амплитуды температуры достигает 15° и больше, а барические градиенты на протяжении суток остаются малыми и почти не изменяются, то нередко скорость ветра в середине дня увеличивается по сравнению с его скоростью ночью на 10 м/сек.

Зимой и ранней весной, когда приземные инверсии имеют большую вертикальную мощность или переходят непосредственно в инверсию оседания (сжатия) и почти не разрушаются в дневное время, скорость ветра как ночью, так и днем бывает приблизительно в 2 раза меньше градиентной скорости.

Суточная амплитуда скорости ветра бывает минимальной, когда имеется подинверсионная облачность и вследствие этого суточный ход температуры оказывается весьма малым. В циклоне при наличии облачности и более значительных барических градиентах, чем в антициклоне, суточный ход скорости ветра трудно обнаружить.

Зимой при любой величине барического градиента, незначительно меняющейся в течение суток, ветер останется с такими же параметрами ночью с какими он наблюдался днем, а днем с такими же, как наблюдались ночью.

Усиление ветра в дневное время весной и летом при безоблачной погоде связано с усилением вертикального перемешивания вследствие увеличения вертикального градиента температуры. Это подтверждается сопоставлением скоростей ветра на различных уровнях в нижнем километровом слое воздуха

по шаропилотным наблюдениям за ночь-утро и день-вечер.

В области циклона при сплошной низкой облачности и больших барических градиентах суточный ход скорости ветра так же мал, как и суточный ход температуры. При малых барических градиентах и значительных разрывах облачности суточный ход скорости ветра в циклонах увеличивается;

3. Местные возмущения в поле ветра. Местные возмущения в поле ветра наблюдаются там, где происходит:

а) отклонение воздушного потока или изменение его скорости у береговой линии, вблизи гор, плато и холмов, в горных проходах и речных долинах и т.д.;

б) наложение на общий поток, определяемый барическим градиентом, местных воздушных течений (горно-долинные ветры и бризы).

В однородном воздушном потоке, направленном с моря на сушу, ветер у поверхности земли после пересечения берега будет отклоняться влево и ослабевать. Напротив, в однородном потоке, направленном с суши на море, ветер в нижнем слое должен отклоняться над водной поверхностью вправо и усиливаться по сравнению с земной поверхностью.

По той же причине при перемещении воздуха вдоль побережья линии тока будут сближены, если суша находится справа от воздушного течения, и разряжены, если - слева. Береговой эффект усиления - ослабления ветра будет особенно ярко выражен там, где воздушный поток вынужден обтекать примыкающие к берегу горные цепи или плато. Вследствие обтекания препятствия воздушным потоком возникает сближение линий тока и соответствующее усиление ветра у мысов, оконечностей горной цепи, плато или полуострова и обратно – разрежение линий тока и ослабление ветра в заливах, вогнутых частях горной цепи или плато. Таким образом, в местах, где направление воздушного потока касательно к выпуклой береговой линии, образованной выступающей в море или озеро отрогами горной цепи или плато, и при этом суша остается справа от течения, ветер будет наиболее сильным. Усиление ветра у выпуклого гористого берега, хребта или плато будет еще

более значительным перед фронтом вследствие сужения потока между указанными препятствиями и фронтальной поверхностью. Наиболее характерным является усиление ветра в воздушном потоке, почти параллельном выпуклому гористому берегу, перед фронтом, вытянутым вдоль береговой линии и приближающимся к ней. Предфронтальное усиление ветра заметно уже в 200-300 км перед фронтом [14, с. 6].

В горных долинах и проходах между хребтами, на перевалах, в ущельях и глубоких оврагах, в морских проливах и долинах рек с высокими берегами преобладают ветры только двух направлений. Они дуют вдоль долины, горного прохода, перевала, ущелья, оврага, пролива или реки по направлению барического градиента или его составляющей в зависимости от расположения изобар.

Скорость ветра увеличивается в местах сужения долины, перевала или пролива. Очень сильные ветры возникают в узких проходах и ущельях, когда по ним устремляется поток воздуха из горных долин или котловин на равнину навстречу приближающемуся к горам циклону или фронту в хорошо выраженной ложбине.

В горной местности скорость ветра может быть увеличена долинным ветром, а на побережье морским бризом, если направление общего переноса воздуха совпадает с направлением этих местных ветров, и уменьшена при противоположных направлениях. Ночью при сохранении прежнего направления общего переноса воздуха горный ветер или бриз с суши на море будет оказывать влияние, обратное дневному.

Горно-долинные ветры следует ожидать в долинах и ущельях горной местности, если поблизости от нее в ближайшие сутки не предполагается развития или перемещения циклона и вторжение холодного воздуха. Горно-долинная циркуляция выражена в ясную антициклоническую погоду лучше, чем в облачную, и проявляется летом более четко, чем зимой. Летом горный ветер обычно появляется вскоре после захода солнца и прекращается через час-полтора после восхода солнца. При этом максимальная скорость его часто

наблюдается у поверхности земли или на высоте не более 50 м. Долинный ветер обычно возникает в малооблачную погоду спустя 2-3 часа, иногда 4-6 часов после восхода солнца, постепенно усиливается днем и также постепенно стихает за полтора-два часа до захода солнца. Скорость и высота его распространения заметно возрастают с увеличением вертикального градиента температуры. Если горы покрыты снегом, горный ветер господствует круглые сутки, так как радиационный баланс снежного покрова остается отрицательным даже днем. При этом ночью горный ветер бывает сильнее, чем днем, но вследствие устойчивых приземных инверсий, развивающихся зимой в безоблачные ночи, он не наблюдается у земли, а обнаруживается только на высоте 100-300 метров.

Горный ветер, в отличие от долинного, наблюдается как в малооблачную погоду, так и при сплошной облачности и осадках. Но для развития горного ветра в пасмурную погоду необходимо, чтобы верхняя граница облаков лежала ниже вершины гор, окаймляющих долину.

Направление горного и долинного ветров определяется ориентировкой долин и ущелий относительно стран света. Горно-долинные ветры обнаруживаются в предгорьях на расстоянии 15-20 км от подножья гор в зависимости от длины горных долин и ущелий.

Бризы на побережьях морей и озер наблюдаются, как правило, при безоблачной и малооблачной погоде в теплое время года. На берегах Черного моря бризы наиболее часты в конце лета и осенью (август-октябрь), но возможны и в холодное время года. Развитие бриза происходит снизу вверх постепенно. Днем с моря (озера) дует морской (озерный) бриз, ночью материковый (береговой) бриз. Морской бриз будет тем лучше выражен, чем выше температура воздуха над сушей по сравнению с температурой воды. Зарождается дневной бриз через некоторое время после восхода солнца вдали от берега над открытым морем и затем медленно распространяется по направлению к суше. На Черном море дневной бриз летом достигает берега в 8-10 часов, зимой в 11-12 часов. На Черноморском побережье Кавказа,

затененном некоторое время после восхода солнца высокими горами, развитие дневного бриза запаздывает примерно на 1-2 часа по сравнению с южным берегом Крыма. После полудня (15-16 часов) бриз достигает наибольшего развития. Скорость его составляет 2-3 м/сек, на совершенно открытом морском берегу 4-6 м/сек. Наибольшая скорость бриза отмечается на высоте 100-200 м. В течение дня бриз проникает вглубь материка на 20-30 км, иногда значительно больше. Вертикальная мощность бриза на Черном море достигает во второй половине дня 1000 м. С высоты 1500 и до 3000 м устанавливается обратный поток – ветер дует с суши на море, скорость его достигает 4-6 м/сек. На высоте 3-4 км ветер приобретает направление, соответствующее общему переносу воздуха в средних слоях тропосферы.

Ночью береговой бриз развивается заметно слабее, что объясняется меньшей разностью температур между сушей и морем. Ночной бриз появляется через 1,5-2 часа после захода солнца и имеет скорость 1-2 м/сек. Его вертикальная мощность на Черном море составляет всего 250 м. Над ночным бризом также наблюдается обратный поток – с моря на сушу – в слое от 300 до 800 м, но скорость его мала (1-2 м/сек).

Горы расположенные вблизи побережья, оказывают влияние на развитие бризов. Там где отроги гор образуют обрывистый берег, бризы наблюдаются редко; там, где горная гряда высотой 1000 м и больше отступает на несколько километров от берега, образуя широкую долину, бризы возникают часто. В тех местах, где примыкающие к побережью горы образуют узкие проходы и ущелья, открытые со стороны моря, дневной бриз будет усиливаться долинным ветром, а ночной будет усиливаться горным ветром. При этом вблизи горного прохода и ущелья скорость ветра во второй половине дня и в середине ночи будет превышать 8-10 м/сек. Такая ситуация является типичной для Краснодарского Причерноморья.

Значительную роль в развитии бриза на востоке Черного моря играет Кавказский хребет. Он препятствует распространению воздушных масс севера и северо-востока на побережье к югу от Туапсе. Поэтому в районе Сочи и

южнее наблюдается развитие бриза не только при малых барических градиентах, но и при сравнительно больших, когда они направлены с севера на юг или с северо-запада на юго-восток;

4. Изменение скорости ветра в движущемся барическом образовании за счет значительного изменения широты, а также при резком изменении кривизны изобар. Этот фактор следует принимать во внимание в том случае, когда данное барическое поле т.е. примерно на 15° широты и более. В таком случае при одних и тех же барических градиентах в данном образовании в начале и конце суток, перемещение к северу сопровождается уменьшением скорости ветра, а перемещение к югу – увеличением скорости ветра примерно на 15% в полосе от 70 до 45° с.ш. Второй случай имеет практическое значение при так называемом нырянии циклонов и ложбин с северных морей на юг России со скоростью 65-80 км/час;

5. Система меридиональных движений значительно более сложная и изменчивая. Во внетропических широтах обеих полушарии с их сильно развитой циклонической деятельностью воздух перемещается из одних широт в другие не в виде замкнутых циркуляций, а в системах меридиональных потоков, направление которых чередуется на каждом меридиане и на одном и том же уровне.

Такая же смена потоков наблюдается и в верхней половине тропосферы в тропиках. Существовавшее ранее упрощенное представление о замкнутых меридиональных ячейках циркуляции возникло как результат статистического осреднения за продолжительный промежуток времени ежедневных систем меридиональных движений. При меридиональном типе циркуляции междуширотный перенос тепла значительно больше, чем при зональном.

Понятие струйного течения появилось сравнительно в недавние исторические времена. Впервые струйные течения наблюдал японский метеоролог Висабуро Уиси в 20-е годы XX века, когда запускал метеорологические зонды с горы Фудзияма. Струйные течения в атмосфере представляют собой узкие стремительные потоки воздуха. Скорость ветра в

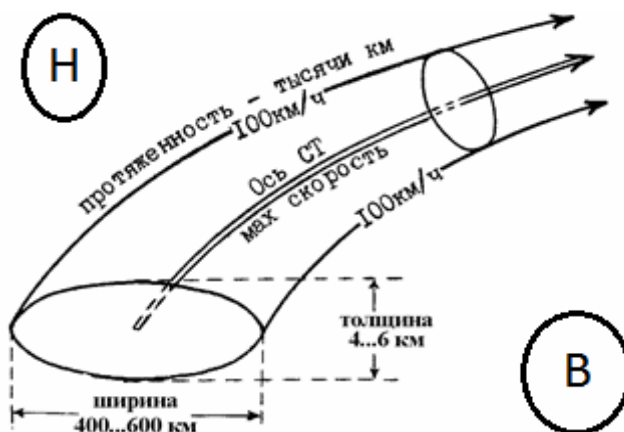
этих атмосферных течениях обычно достигает 50-100м/с, но на пике своей мощности может доходить и до 140м/с.

Струйные течения обычно находятся на высоте от 9000 до 18 000 м. Два основных течения в обоих полушариях дуют с запада на восток через теплые субтропики и холодные полярные области. Эти струи постоянно циркулируют вокруг Земли.

Современные пассажирские самолеты летают на высотах свыше 10 км. Иногда они используют струйные течения для того, чтобы ускорить полет в направлении с запада на восток. Однако самолеты летят рядом, стараясь не попадать в само течение. Ведь здесь поток завихряется, в результате чего, самолет начинает сильно «болтать» [12, с. 53].

Струйное течение (СТ) – это перенос воздуха в виде узкого течения с большими скоростями, обычно в верхней тропосфере и нижней стратосфере с осью вблизи тропопаузы. Максимальная скорость ветра (30 м/с и более) наблюдается на оси СТ. Изменение скорости ветра в области струйного течения обычно составляет 5-10 м/с на 1 км высоты и 10 м/с и более на 100 км в горизонтальном направлении.

Струйные течения представляют собой узкие области высотой около 2-4 км. Их ширина составляет от 40 до 160 км. Такие воздушные «реки», по которым несется воздух со скоростью 400 – 500 км/ч (рис. 1.1).



Н – высокая циклоническая область,
В – высокая антициклоническая область.

Рис. 1.1. Схематическое изображение струйного течения [20, с. 54]

Длина струйного течения может быть самой разной в зависимости от скорости воздуха. Бывает, что одно струйное течение опоясывает земной шар в районе 30-х и 60-х широт. Бывает, что одно длинное струйное течение разбивается на несколько более коротких струйных течений.

Эти течения возникают, когда фронтальная поверхность простирается вплоть до тропопаузы, а воздушные массы, лежащие по её обеим сторонам, имеют разность температур, превышающую $8-10^{\circ}\text{C}$.

При этом СТ расположено впереди приземной линии теплого фронта на расстоянии 400-500 км и позади линии холодного фронта на расстоянии 100-300 км. СТ обычно направлены с запада на восток. С изменением положения атмосферного фронта изменяется положение и струйного течения [21, с. 64].

В поперечном сечении струйные течения представляют собой сильно сплюснутую (по горизонтали) гигантскую трубу, размеры которой составляют: по вертикали в среднем 4-6 км, по ширине 400-600 км, а по протяженности тысячи километров (рис. 1.2). Струйные течения связаны с высотными фронтальными зонами.

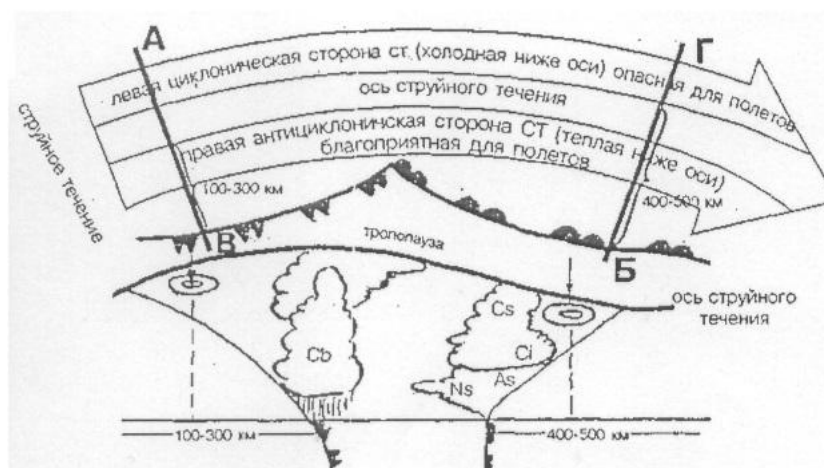


Рис. 1.2. Положение струйного течения относительно атмосферных фронтов [20, с. 58]

Левая сторона струйных течений, если смотреть вдоль ветрового потока, называется циклонической или холодной, а правая - антициклонической или теплой (рис. 1.2).

На снимках из космоса облачность струйных течений выглядит, как высокостроистая и перисто-слоистая облачность. Облачность возникает лишь на нескольких участках струйных течений, образуется в теплом воздухе правее от оси струйного течения. Со стороны холодной воздушной массы такая облачность имеет резко очерченную границу, которая повторяет изгиб оси струйного течения. Облачное струйное течение имеет форму длинную широкой полосы. Иногда такая облачность выглядит как группа узких перистых облаков вытянутых вдоль потока (рис. 1.3) или форму обширного массива.



Рис. 1.3. Облачность струйного течения на снимке с космического аппарата [23, с. 106]

Метеорологическая информация о местоположении и параметрах струйного течения за конкретные сроки метеонаблюдений является основой для выполнения краткосрочных и сверх краткосрочных прогнозов для авиации а также оценки траектории и параметров движения самолета [8, с. 142].

Навигационный треугольник скоростей и его элементы. Треугольник, образованный вектором воздушной скорости, вектором ветра и вектором путевой скорости, называется навигационным треугольником скоростей (рис. 1.4).

Элементами навигационного треугольника скоростей являются:

V - воздушная скорость; W - скорость ветра; V_n - путевая скорость; d - направление ветра; K - курс самолета; $УС$ - угол сноса; $ПУ$ - путевой угол; $УВ$ -

угол ветра; КУВ - курсовой угол ветра.

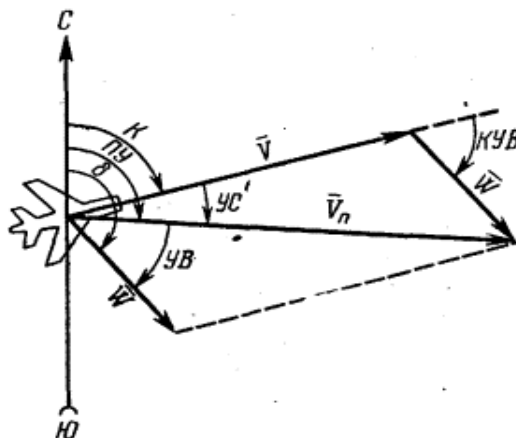


Рис. 1.4. Навигационный треугольник скоростей [4, с. 91]

Скорость перемещения самолета относительно поверхности Земли называется путевой скоростью. Угол между вектором воздушной скорости и вектором путевой скорости называется углом сноса. Угол сноса отсчитывается от вектора воздушной скорости вправо (плюсовой) и влево (минусовой).

Путевым углом называется угол между северным направлением меридиана и вектором путевой скорости (линией пути). Он отсчитывается от северного направления меридиана до вектора путевой скорости по ходу часовой стрелки от 0 до 360°. Различают заданный путевой угол ЗПУ и фактический путевой угол ФПУ. Путевой угол определяется по формуле:

$$ПУ = K + УС \quad (1)$$

Угол между вектором путевой скорости и вектором ветра называется углом ветра. Угол ветра отсчитывается от вектора путевой скорости до вектора ветра по ходу часовой стрелки от 0 до 360°. Угол между вектором воздушной скорости и вектором ветра называется курсовым (бортовым) углом ветра. Курсовой угол ветра отсчитывается от вектора воздушной скорости до вектора ветра по ходу часовой стрелки от 0 до 360° [4, с. 210].

Возможный вариант входа самолета в зону струйного течения представлен на рис. 1.5.

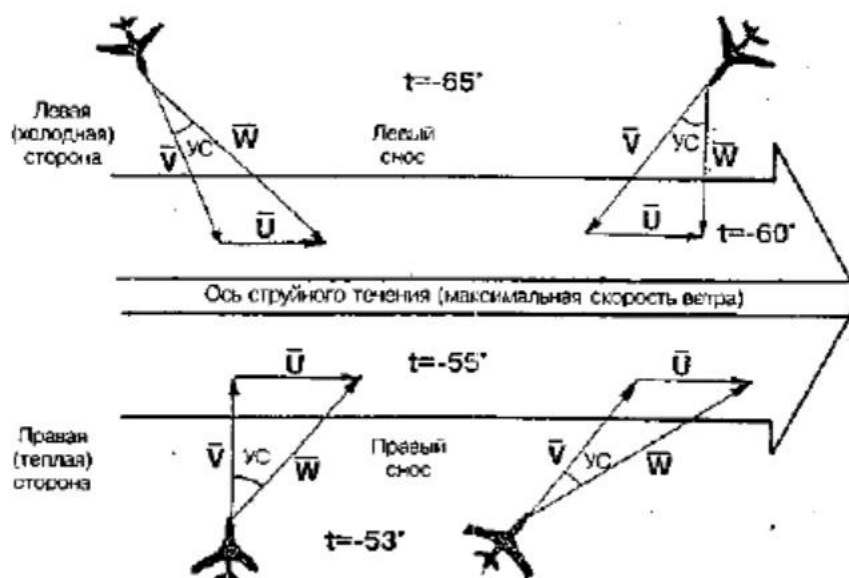


Рис. 1.5. Изменение угла сноса и температуры при пересечении струйного течения (вид в плане) [20, с. 83]

Как видно из рис.1.5, изменения условий пересечений потока струйного течения самолетом под разными углами приводит к изменению величины угла сноса, а также величины вектора путевой скорости полета самолета.

Глава 2 Методы измерения параметров ветра струйных течений

2.1 Аэрологические методы и технические средства измерения параметров ветра

Определение параметров ветра представляет собой одну из главных задач аэрологических измерений. Для измерения скорости и направления ветра в свободной атмосфере могут быть использованы два метода. Первый метод заключается в наблюдении с земной поверхности за перемещением объектов, свободно увлекаемых воздушными потоками и перемещающихся со скоростями этих потоков. Сущность второго метода состоит в измерении давления воздушного потока на неподвижное тело. Если первый метод предполагает использование выпускаемых в свободный полет средств, вес которых меньше веса воздуха, то при втором методе измерительные приборы должны подниматься в свободную атмосферу с помощью носителей, скорость перемещения которых в атмосфере отличается от скорости воздушных потоков [2, с. 256].

При использовании первого метода объектами наблюдений, перемещающимися со скоростями воздушных потоков, могут быть объекты как естественного, так и искусственного происхождения. Естественными объектами могут являться отдельные облака, расположенные на различных высотах, метеорные следы, остающиеся в атмосфере после сгорания метеоров. Следует заметить, что первая информация о наличии и параметрах струйных течений на определенных высотах была получена именно посредством наблюдений за движением атмосферных образований и метеорных следов на различных высотах. Наблюдения за движением серебристых облаков и в настоящее время являются одним из важных источников информации о ветре на больших высотах.

Получение информации о ветре в свободной атмосфере, основанное только на использовании естественных объектов, носит случайный характер, так как они образуются в атмосфере эпизодически и не на всех высотах. Этого,

оказывается, недостаточно, так как сведения о ветре необходимы по всей толщине атмосферы. Объектами, искусственно созданными в атмосфере с целью получения ее ветровых характеристик, могут быть дымовые облака или облака паров натрия, забрасываемого на определенную высоту с помощью артиллерийских снарядов или ракет. За ними с земной поверхности следят так же, как и за естественными образованиями. Такие искусственные объекты позволяют определять ветер на заранее заданных высотах.

Для получения информации о ветре во всей толще атмосферы или по крайней мере в ее значительной нижней части необходимо использовать такие искусственные объекты, которые бы перемещались не только в горизонтальном, но и в вертикальном направлении. Такими объектами являются шары - пилоты, радиопилоты, радиозонды, свободные аэростаты (автоматические и поднимающиеся в атмосферу вместе с людьми), а также метеорологические ракеты.

При использовании второго метода чаще всего применяются привязные носители (например, привязной аэростат), с помощью которых измерительные приборы удерживаются некоторое время на заданной высоте, когда производятся измерения. Таким образом измеряются средняя скорость и направление ветра на разных высотах. Такие измерения называют градиентными.

В реальных условиях для получения информации о ветре чаще всего пользуются шарами-пилотами, радиопилотами и радиозондами.

Определение скорости и направления ветра с помощью шаров-пилотов основано на измерении изменения координат шара, выпущенного в свободный полет в атмосферу, за определенный интервал времени. Для обеспечения измерения на различных высотах шар-пилот наполняют легким газом (водород, гелий). Такой шар-пилот, обладая подъемной силой, определяемой законом Архимеда, одновременно с увлечением его воздушным потоком поднимается вверх, последовательно проходя слои атмосферы. За перемещением шара-пилота с Земли следят с помощью оптических угломерных приборов

(аэрологических теодолитов). В зависимости от числа используемых теодолитов различают два способа шаропилотных ветровых измерений: однопунктный и двухпунктный (базисный).

При однопунктных измерениях в свободный полет выпускается шар-пилот с известной вертикальной скоростью (известной подъемной силой), которую считают постоянной во времени (по высоте). По временным интервалам между измерениями координат шара-пилота и по известной вертикальной скорости могут быть рассчитаны средняя скорость ветра и его направление в слое атмосферы, толщина которого определяется вертикальной скоростью и временем между смежными отсчетами.

При двухпунктных измерениях нет необходимости в предварительном знании вертикальной скорости шара-пилота. В этом случае средняя скорость ветра и его направление в слое могут быть определены аналитически только по результатам наземных теодолитных измерений координат шара-пилота в функции времени.

С целью обеспечения лучшей видимости шара-пилота оболочки красят в яркие цвета, а чаще всего в черный цвет. Для улучшения видимости шара-пилота в темное время суток к нему подвешивают специальный источник света (огарок свечи в бумажном фонарике или батарею с электрической лампочкой)[15, с. 26].

Одним из существенных недостатков шаропилотного способа является резкое снижение его эффективности в темное время суток и в условиях низкой облачности. При малой высоте облаков шар-пилот через короткое время скрывается в облаках, и дальнейшее наблюдение за ним становится невозможным. Для устранения этого недостатка необходимо переходить в такой участок спектра электромагнитных колебаний, для которого аэрозольная атмосфера прозрачна.

Радиопилотный способ измерения скорости и направления ветра заключается в том, что к выпускаемому в свободный полет шару, наполненному легким газом, подвешивается радиопередатчик с источником

питания, излучающий радиосигналы. Совокупность шара и радиопередающего устройства называется радиопилотом. На пункте выпуска за перемещением радиопилота следят с помощью радиотеодолита, представляющего собой радиотехническое устройство, предназначенное для определения угловых координат источника радиосигналов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Методика радиопилотного измерения ветра такая же, как и шаропилотного [16, с. 130].

В связи с развитием радиолокационных методов измерений координат объектов появилась возможность отказаться от использования подвешиваемых к шару радиопередатчиков. Их заменили пассивным отражателем высокочастотной энергии, излучаемой наземной радиолокационной станцией. В качестве отражателей в этом случае используют идеально проводящие большие сферы или уголковые отражатели.

Для измерения скорости и направления ветра радиопилотным способом длина волны подвешиваемого к шару радиопередатчика или наземной радиолокационной станции выбирается в таком участке спектра электромагнитного излучения, для которого атмосфера и ее образования являются прозрачными. Например, современные подвешиваемые к оболочкам радиопередатчики и наземные радиолокационные станции, применяемые при радиопилотных ветровых измерениях, работают в метровом и дециметровом диапазонах волн.

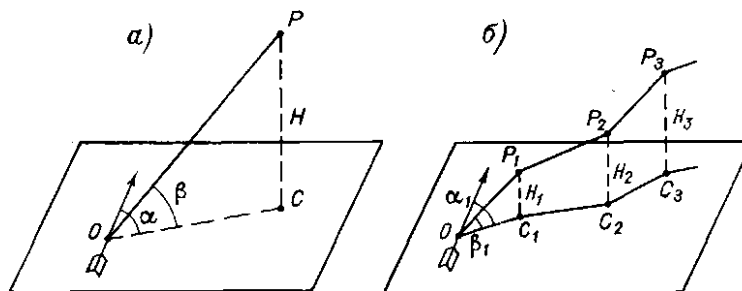
Основным достоинством радиопилотного способа измерения скорости и направления ветра по сравнению с шаропилотным и является его независимость от времени суток и метеорологических условий, а недостатком — необходимость использования относительно сложной радиотехнической аппаратуры.

Разновидностью радиопилотного способа является комплексный способ, сущность которого состоит в том, что измерение скорости и направления ветра производится в комплексе с радиотелеметрическими измерениями метеорологических элементов свободной атмосферы (температуры, влажности

и давления).

При проведении радиозондирования атмосферы к наполненному легким газом шару подвешивается радиозонд, представляющий собой прибор, измеряющий метеоэлементы, и радиопередающее устройство. Результаты измерений по радиоканалу передаются на наземный пункт. Наземная аппаратура системы радиозондирования осуществляет прием информации и одновременно определяет координаты радиозонда в момент измерений радиотеодолитным или радиолокационным способом. Результаты измерений координат радиозонда используются для получения данных о высоте и ветре.

При однопунктных измерениях угловые координаты перемещающегося в пространстве шара-пилота измеряют с помощью аэрологического теодолита. При этом измеряют азимутальный (горизонтальный) и вертикальный углы. (рис. 2.1).



а — координаты шара-пилота, б — проекции перемещений шара-пилота на горизонтальную плоскость.

Рис. 2.1. Однопунктные шаропилотные измерения [2, с. 94]

Вертикальный угол представляет собой угол, заключенный между линией визирования (линией, соединяющей точку наблюдения с шаром-пилотом) и ее проекцией на горизонтальную плоскость (плоскость, касательную к земной поверхности в точке расположения теодолита). Азимутальный угол α заключен между направлением север—юг и проекцией линии визирования на горизонтальную плоскость (рис. 2.1 а).

При двухпунктных (базисных) измерениях угловые координаты шара-пилота измеряют с помощью двух аэрологических теодолитов, удаленных друг от друга на некоторое расстояние (базу) L (рис. 2.2 а). При этом база в точке O_1 составляет с направлением север-юг угол α_{61} , а в точке O_2 — угол α_{62} . Оба

угла для данной базы являются величинами постоянными и известными заранее [2, с. 95]

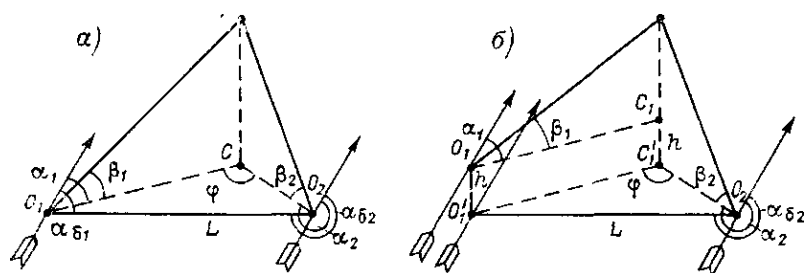


Рис. 2.2. Двухпунктный метод измерения [2, с. 96]

Таким образом, для измерения скорости ветра в слое базисным методом (при одинаковых высотах теодолитов) достаточно измерений двух горизонтальных углов. Что касается определения направления ветра, то оно осуществляется так же, как и при однопунктном методе.

2.2 Существующие системы измерения параметров ветра и тенденция их развития

«Навигационный» ветер действующий на АРЗ определяет по его координатам определяемым в динамике полета с набором высоты. Строится горизонтальная проекция его траектории, отрезки которой характеризуют направление и скорость ветра в различных слоях атмосферы. Такой метод базируется на измерениях координат с помощью навигационных станций работающих на сверхнизких частотах. В США была создана система радиозондирования НЭВЭЙД, которая использует сигналы навигационных станций «Омега».

Приемники навигационной системы «Омега» могут и должны принимать сигналы не менее чем от трех передающих станций - это обусловлено тем, что радиоволны низких частот распространяются на очень большие расстояния.

Посредством приема и фазового сравнения сигналов, определяется местоположение радиозонда от четырех попарно работающих станций. Станция излучает радиоволны, которые распространяются во всех

направлениях, такие радиоволны имеет определенную амплитуду и фазу колебаний, которые можно измерить в любой точке пространства. Измеренная разность фаз позволяет определять местоположение радиозонда в любой точке и его траектории полета [9, с. 93].

Сигналы передаваемые станцией посылаются в эфир в определенной последовательности для синхронного приема сигналов потребителями радионавигационной информации. Одним из таких потребителей является АРЗ, которые ретранслируя эти сигналы на специально выделенных частотах в диапазоне дециметровых волн для зондировочного пункта, где и определяются координаты и траектория полета АРЗ, и параметры ветра.

Аналогичным образом работают АРЗ фирмы ВАЙСАЛА при измерении параметров ветра, которые используют координатную информацию радионавигационной системы ЛОРАН.

Примером дальнейшего развития систем АРЗ может служить комплекс радиозондирования SR-10 французской компании «Modem». Комплекс представляет собой портативную систему радиозондирования нового поколения, использующую для сопровождения радиозонда по координатам сигналы глобальной навигационной системы GPS. В состав комплекса входят радиозонды M2K2-DC. Координатная информация спутниковой навигационной системы и результаты измерения параметров атмосферы ретранслируется на частоте 400-406 МГц. Микроминиатюрные датчики температуры и влажности повышенной точности производятся той же компанией. Данные датчиков и навигационная информация передаются на наземную станцию по цифровому радиоканалу с интервалом 1сек. Обработка данных на ПК производится автоматически в реальном масштабе времени. В состав комплекса также входит компактное устройство предполетной проверки с вентилируемой камерой, обеспечивающее настройку несущей частоты радиозонда, считывание калибровочных коэффициентов, контроль показаний датчиков и приема сигналов GPS [10, с. 128].

Результаты аэрологических наблюдений оперативно передаются в коде

КН-04 на сервер ЮНИМАКС АСПД специализированного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей с использованием веб-интерфейса, оттуда по каналам АСПД Росгидромета доводится до заинтересованных потребителей.

Развитие методов и средств измерения координатной информации, для высокоточного определения параметров ветра, с применением спутниковой навигации на основе современных и перспективных цифровых технологий. У современных АРЗ с применением радиолокаторов ошибка СКО 2000-3000 метров, а у новых технологий определение координат точность определения возрастает до 100 раз [17, с. 43].

Аэрологическое радиозондирование осуществляется комплексом средств. Обмен между компонентами осуществляется по принципу активной радиолокации. Сущность активной работы состоит в том, что радиозонд излучает ответные импульсы содержащие метеоинформацию о состоянии параметров атмосферы на высоте полета шарозонда. Излучение на высоте осуществляется как стандартный радиосигнал = 1780 МГц – дециметр диапазона.

Обоснование прогнозов погоды как синоптическими, так и гидродинамическими методами используются данные о текущем состоянии атмосферы и различные прогностические модели. Текущее состояние атмосферы определяется на основе различных видов наблюдений, в том числе наземных, радиолокационных, аэрологических, воздушных, морских и спутниковых. При этом ключевую роль играют данные радиозондирования атмосферы.

Радиозондирование представляет наиболее точные результаты непосредственных контактных измерений термодинамических параметров атмосферы на высотах от уровня земли до 30 км.

Эти данные содержат информацию о вертикальных профилях температуры, влажности, скорости и направлении ветра, а также о давлении воздуха на заданных уровнях.

В 1998–2001 гг. началось серийное производство новой радиолокационной станции (РЛС) МАРЛ, основанной на современной элементной базе и принципах обработки сигналов.

Станция МАРЛ выполнена в виде одноблочной конструкции (рис. 2.3). Из производственного цикла исключены работы по изготовлению точной механики для системы сопровождения радиозонда. В качестве антенны используется активная фазированная антенная решетка (АФАР). Станция МАРЛ автоматически находит и сопровождает зонд в полёте, выдаёт его текущие координаты, принимает и обрабатывает метеорологическую информацию [16, с. 67].



Рис. 2.3. Аэрологический регистрационно-вычислительный комплекс МАРЛ [16, с. 68]

В настоящее время на аэрологической сети действуют основные радиолокационные комплексы АВК-1, АВК-1М, РЛС нового поколения МАРЛ (рис 2.3), а с 2008 г. – и РЛС Вектор-М (рис. 2.4).

МАРЛ имеет следующие технические характеристики:

- диапазон измерения температуры воздуха - +50-80 град.С;
- диапазон измерения относительной влажности - 15-98%;
- диапазон определения давления - от приземного до 3-5гПа;

- несущая частота радиозонда - (1782 ± 8) мГц;
- температура, относительная влажность и опорная частота - передаются в виде частот прерываний (пауз) в излучении передатчика СВЧ;
- частота следования радиоимпульсов в рабочих условиях применения - (800 ± 25) кГц.



Рис. 2.4. Аэрологический регистрационно-вычислительный комплекс Вектор-М [16, с. 72]

Частоты пауз лежат в следующих пределах:

- опорная частота ($F_{оп}$) - (2080 ± 80) Гц;
- частота сигналов температуры - 50 Гц - $(F_{оп} - 25 \text{ Гц})$;
- частота сигналов относительной влажности - 1400 Гц - $(F_{оп} - 20 \text{ Гц})$;
- длительность паузы в излучении генератора СВЧ - (65 ± 15) мкс;
- масса радиозонда - 430 г.

РЛС по результатам активных запросов МАРЗ принимает и производит первичную обработку метеорологической информации.

Полную и специализированную обработку аэрологической информации производит вычислительный комплекс. Марка (тип) выполняется на базе современных ПВМ и одной из версий современных операционных систем.

Новые радиолокаторы имеют небольшой, по сравнению с АВК, вес, легко монтируются на крыше любого здания, имеют низкое энергопотребление от обычной сети 220 В, 50 Гц (0,5-1,0 кВт) и малую излучаемую мощность. Обе станции работают в международном диапазоне частот 1680 МГц. Технические характеристики новых комплексов в целом удовлетворительные. Однако для надёжного достижения требуемых высот в 30 км и высокого качества зондирования необходимо обеспечение надлежащего состояния сервисного обслуживания. Увеличение потенциала станций по дальности, возможно, потребует их некоторой доработки. Для дальнейшего совершенствования аэрологической наблюдательной сети необходимо развивать и иные (кроме радиолокационного) способы определения координат радиозонда в полёте, особенно навигационный с использованием спутниковых навигационных систем типа GPS или ГЛОНАСС.

Для получения информации в атмосферу выпускаются в свободный полёт небольшие лёгкие измерительные приборы, снабжённые датчиками различных метеорологических параметров и радиопередатчиком (рис. 2.5).

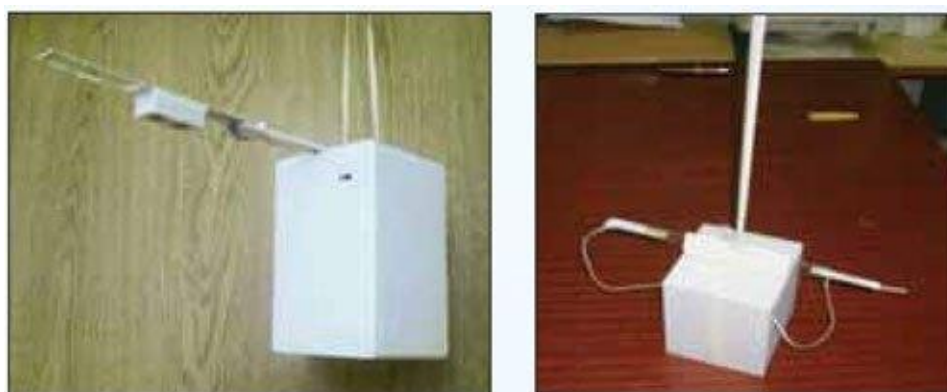


Рис. 2.5. Малогабаритные аэрологические сетевые радиозонды АК2-01А (1780 МГц) АК2-01М (1680 МГц) [16, с. 83]

Такие приборы, называемые радиозондами, поднимаются до больших высот с помощью специальных латексных шаров (оболочек), наполняемых лёгким газом – водородом или гелием.

Выпускаются радиозонды одновременно во всём мире дважды в сутки в 00.00 и 12.00 мирового времени.

Процесс радиозондирования осуществляется с помощью информационно-измерительных систем, основанных на каком-либо способе определения пространственных координат радиозонда и включающих кроме самого радиозонда различные устройства для приёма и обработки информации.

На аэрологической сети Росгидромета применяются системы радиозондирования, основанные на радиолокационном принципе определения координат радиозонда.

Типы используемых в настоящее время на аэрологической сети Росгидромета радиозондов:

- малогабаритный аэрологический радиозонд-МРЗ-3А (1780 МГц);
- МРЗ-3АТ (1680 МГц);
- малогабаритный аэрологический радиозонд-МРЗ-3А*(1780 МГц);
- МРЗ-3А*(1680 МГц);
- малогабаритный аэрологический радиозонд сетевой-АК2-01А (1780 МГц) АК2-01М (1680 МГц);
- радиозонд повышенной точности-АК2-02АО (1780 МГц) АК2-02МО (1680 МГц);
- радиозонд повышенной точности-РФ-95 (1780 МГц).

С помощью радиозондов, представленных на рис. 2.6, измеряются вертикальные профили температуры и относительной влажности воздуха, а также параметры ветра от уровня земли до высот 32 км.



Рис. 2.6. Малогабаритные аэрологические радиозонды МРЗ-3А

(1780 МГц) и МРЗ-3АТ (1680 МГц) [5, с. 93]

Все представленные типы отечественных радиозондов утверждены Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии как типы СИ с одинаковыми метрологическими характеристиками (МХ) у всех сетевых радиозондов и соответственно у обоих типов радиозондов повышенной точности (всё для нормальных условий) [5, с. 94].

Измерение метеорологических параметров в свободной атмосфере (тропосфере и стратосфере) осуществляется малогабаритным автоматическим радиозондом выполненном на основе современных полупроводниковых микросхем. Микросхемы обеспечивают высокую экономичность и надежность работы зонда в ходе измерения метеорологических параметров в режиме активного запроса РЛС.

Результаты температурно – ветрового зондирования записывают в таблицу ТАЭ-3. Запись осуществляют по уровням в порядке возрастания высоты. В таблицу ТАЭ-3 включают следующие уровни: высоту станции над уровнем моря; изобарические поверхности, входящие в телеграмму; особые точки (вертикальный профиль температуры, влажности или ветра); уровни 0,3, 0,6, 0,9км над поверхностью земли; уровни максимумов скорости ветра; максимальную высоту зондирования. Уровни 0,3, 0,6 и 0,9 км над поверхностью земли включаются в таблицу ТАЭ-3 с учетом высоты станции над уровнем моря. При составлении таблицы ТАЭ-3 вычисляют вертикальный градиент температуры и вертикальную скорость подъема радиозонда ω .

Глава 3 Анализ струйных течений Краснодарского Причерноморья по данным аэрологического зондирования

3.1 Тропосферные струйные течения

Информационной и методической базой исследования струйных течений Краснодарского Причерноморья послужили метеорологические данные зондирования на аэрологической станции г. Туапсе за период 2013-2015 гг. Синоптический индекс станции: 37018. Результаты сведены в таблицу ТАЭ-3.

В нашей работе были рассмотрены количественные проявления СТ по месяцам за три года. Изучены их интенсивность, направление, высота нижней границы струйного течения и границы тропопаузы.

Для выявления тропосферного струйного течения была рассмотрена таблица зондирования ТАЭ-3. По критериям $V \geq 30$ м/с и $H_{\text{тст}} \leq H_{\text{тр}}$ данные сведены в таблице за каждый месяц. Они послужили основой для построения графиков средних месячных скоростей струйных течений. Кроме того сделаны сравнения между 2011, 2012 и 2015 годами.

Рассмотрим ежегодную скорость СТ на примере 2013, 2012 и 2015 годы года. Средняя и максимальная скорость струйных течений за каждый месяц 2013 года сведена в табл. 3.1 и рис. 3.1.

Таблица 3.1

Средняя и максимальная скорость (V) СТ за 2013 г.¹

2013	V сред.	V max
Январь	34,2	43
Февраль	43,3	60
Март	34,2	45
Апрель	33,1	45
Май	35	35
Июнь	35	38
Июль	32,5	35
Август	31	43
Сентябрь	32,4	43

¹ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Продолжение таблицы 3.1

Октябрь	38,3	51
Ноябрь	35,3	53
Декабрь	37,8	43

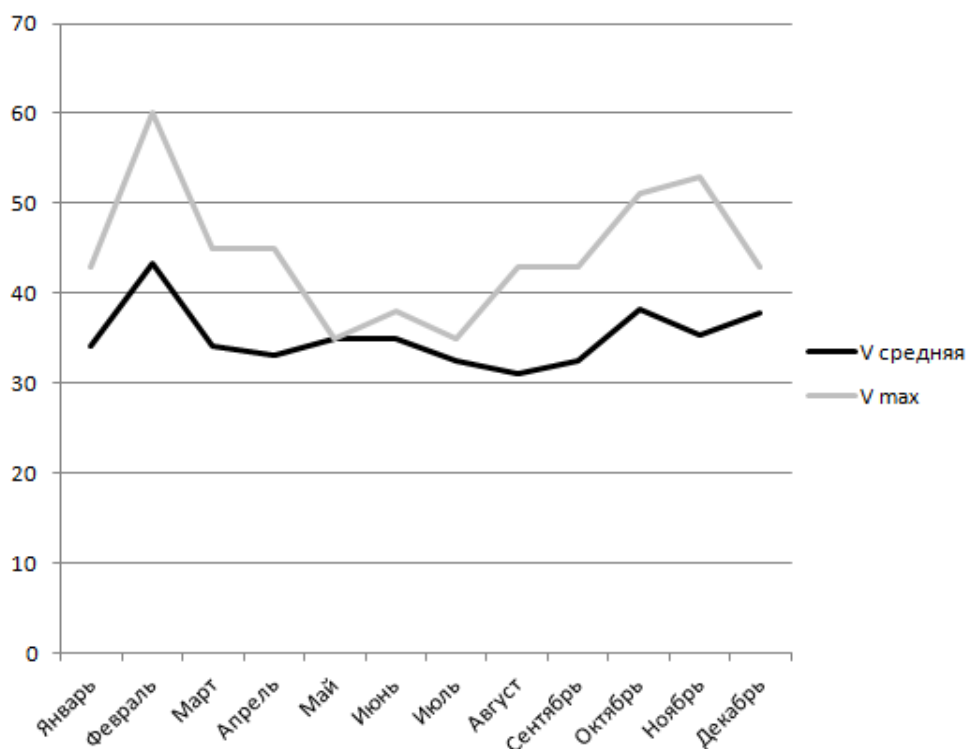


Рис. 3.1. Гистограмма средней и максимальной скорости ветра за 2013 г.²

По оси абсцисс – месяц, в который наблюдалось явление, по оси ординат – скорость ветра, м/с.

Анализ табличных данных (табл. 3.1) и гистограммы годового хода явления (рис. 3.1) показал, что максимальные значения скорости струйных течений приходятся на холодные периоды, а именно с января по апрель и сентября по декабрь. Максимум скорости ветра (60 м/с) был зафиксирован в феврале-месяце. Наименьшая активность СТ приходится на теплый период 2011 года, с мая по август.

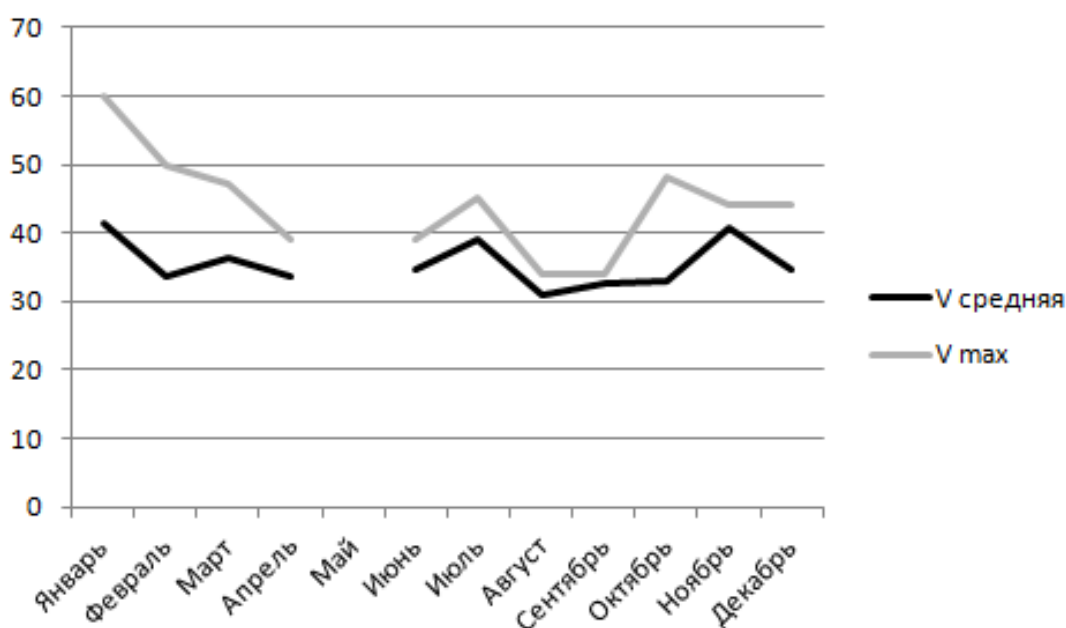
Результат обработки анализа сведен в табл. 3.2 и рис.3.2

² Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Таблица 3.2

Средняя и максимальная скорость (V) СТ за 2014 г.³

2014	V сред.	V max
Январь	41,3	60
Февраль	33,8	50
Март	36,4	47
Апрель	33,6	39
Май	0	0
Июнь	34,5	39
Июль	39	45
Август	31	34
Сентябрь	32,7	34
Октябрь	32,8	48
Ноябрь	40,7	44
Декабрь	34,5	44

Рис. 3.2 Гистограмма средней и максимальной скорости ветра за 2014г.⁴

По оси абсцисс – месяц, в который наблюдалось явление, по оси ординат – скорость ветра, м/с.

Анализ табличных данных (табл. 3.2) и гистограммы годового хода

³ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

⁴ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

явления (рис.3.2) показал, что максимальные значения скорости струйных течений приходятся на холодные периоды, а именно с января по март и октября по декабрь. Максимум скорости ветра (60 м/с) был зафиксирован в январе-месяце холодного периода. Наименьшая активность СТ приходится на теплый период 2012 года, с апреля по сентябрь. Следует отметить, что в мае струйное течение не наблюдалось, а в июле был зафиксирован максимальный показатель скорости ветра (45 м/с) на теплый период.

Аналогичный способ параметров скорости СТ за 2015 год сведен в табл. 3.3 и рис. 3.3

Таблица 3.3

Средняя и максимальная скорость (V) СТ за 2015 г.⁵

2015	V сред.	V max
Январь	37,1	46
Февраль	40	50
Март	36	44
Апрель	41,4	67
Май	34,2	40
Июнь	38,3	61
Июль	39,1	56
Август	41,3	57
Сентябрь	36,6	42
Октябрь	39,9	63
Ноябрь	44,2	58
Декабрь	46,4	73

Анализ табличных данных (табл. 3.3) и гистограммы годового хода явления (рис. 3.3) показал, что максимальные значения скорости струйных течений приходятся на холодные периоды, а именно с января по май и октября по декабрь. Максимум скорости ветра (73 м/с) был зафиксирован в декабре-месяце холодного периода. Наименьшая активность СТ приходится на теплый период 2015 года, с июля по сентябрь. Следует отметить, что, а в июне был

⁵ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

зафиксирован максимальный показатель скорости ветра (61 м/с) на теплый период.

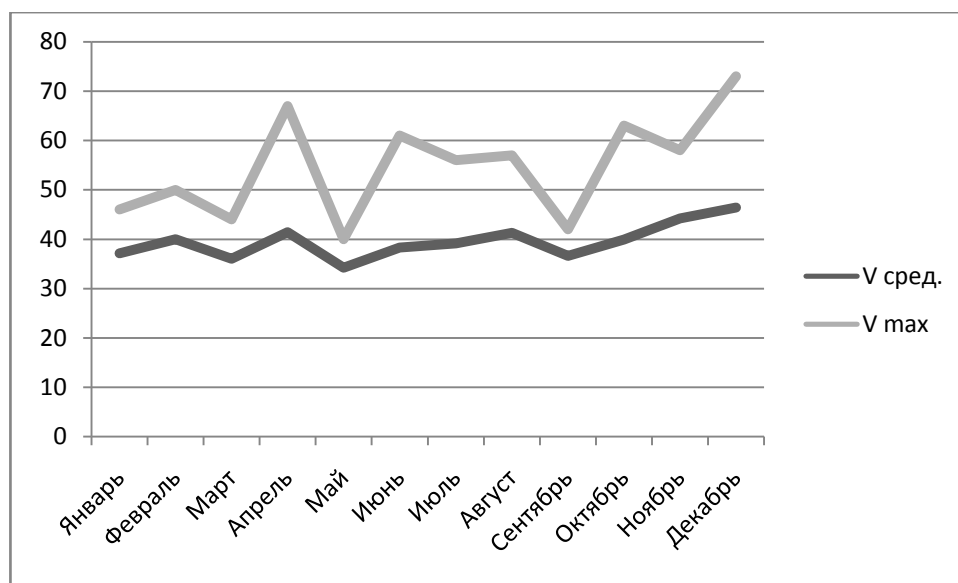


Рис. 3.3. Гистограмма средней и максимальной скорости ветра за 2015 г.⁶

По результатам обработки таблиц зондирования ТАЭ-3 проанализирована активность ежемесячного хода струйных течений за три года, в результате чего получили таблицу активности ветра СТ годового хода. Годовой ход струйных течений за 2013 год сведен в табл. 3.4 и рис. 3.4.

Таблица 3.4

Годовой ход СТ за 2013 г.⁷

месяц	янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
дни	9	12	10	15	1	3	2	16	12	9	12	6

Данные таблицы и гистограммы (табл. 3.4, рис. 3.4) показывают, что наименьшая активность явлений была зарегистрирована с мая по июль. Максимальное количество дней, в которые наблюдались струйные течения, приходится на август и апрель-месяц.

⁶ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

⁷ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

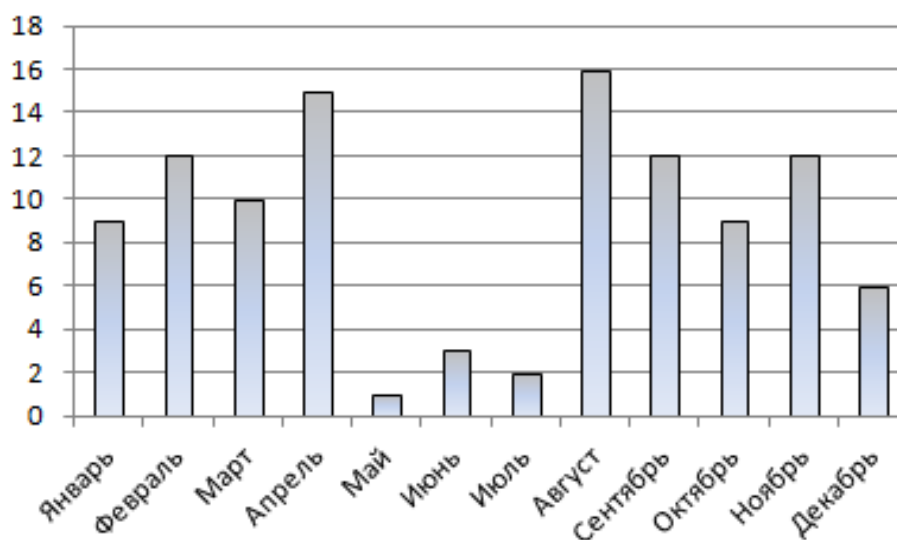


Рис. 3.4. Гистограмма годового хода СТ за 2013 г.⁸

По оси абсцисс – месяц, в который наблюдалось явление, по оси ординат – количество дней с явлениями.

По аналогии был получен годовой ход струйных течений за 2014 год и сведен в табл. 3.5 и рис. 3.5.

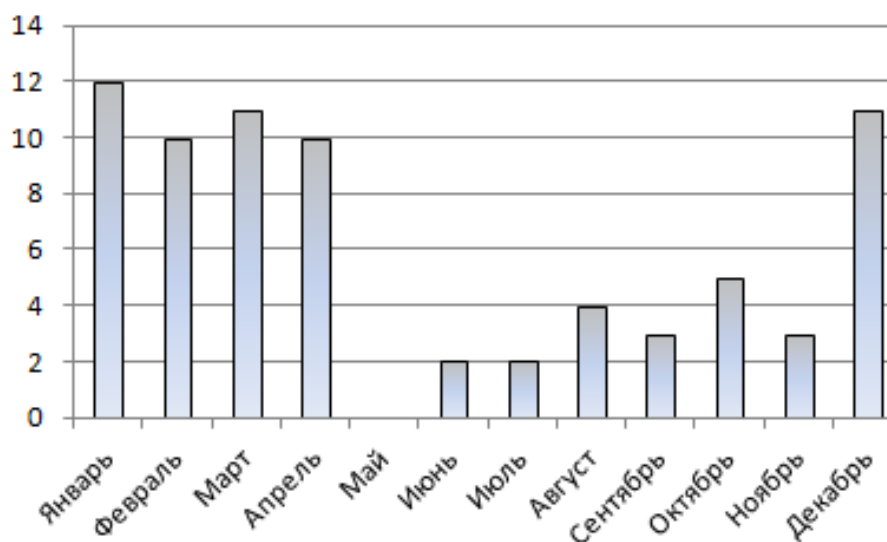


Рис. 3.5. Гистограмма годового хода СТ за 2014 г.⁹

(по оси абсцисс – месяц, в который наблюдалось явление, по оси ординат – количество дней с явлениями)

⁸ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

⁹ То же

Таблица 3.5

Годовой ход СТ за 2014 г.¹⁰

месяц	янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
дни	12	10	11	10	0	2	2	4	3	5	3	11

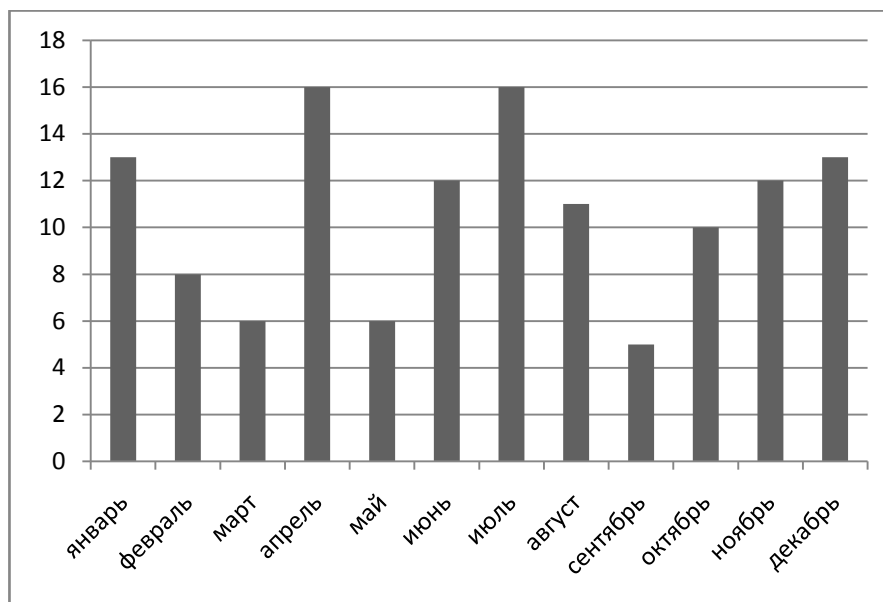
Данные таблицы и гистограммы (табл. 3.5, рис. 3.5) показывают, что наименьшая активность явлений была зарегистрирована с мая по ноябрь. Максимальное количество дней, в которые наблюдались струйные течения, приходится на зимние месяцы, включая март и апрель. В мае струйные течения не обнаружены.

Подобным образом был получен годовой ход струйных течений за 2015 год и сведен в табл. 3.6 и рис. 3.6.

Таблица 3.6

Годовой ход СТ за 2015 г.¹¹

месяц	янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
дни	13	8	6	16	6	12	16	11	5	10	12	13

Рис. 3.6. Гистограмма годового хода СТ за 2015 г.¹²

¹⁰ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

¹¹ То же

¹² Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

По оси абсцисс – месяц, в который наблюдалось явление, по оси ординат – количество дней с явлениями)

Сопоставление данных табл. 3.4 и 3.55, дает возможность составить гистограмму, которая отображает тенденцию наблюдения струйных течений за период 2013-2015гг (рис. 3.7).

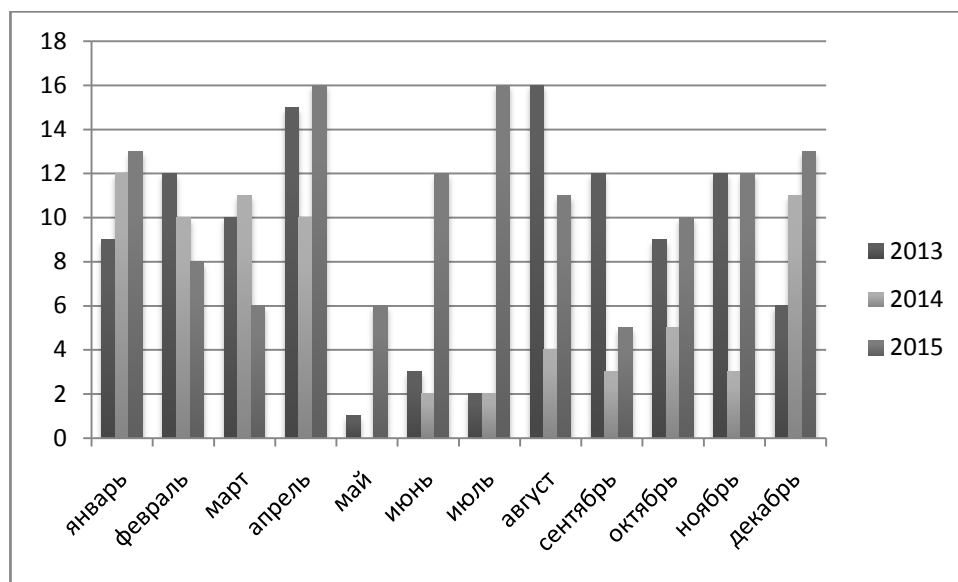


Рис. 3.7. Гистограмма годового хода СТ за 2013-2015 гг.¹³

По оси абсцисс – месяц, в который наблюдалось явление, по оси ординат – количество дней с явлениями.

Из гистограммы годового хода СТ (рис. 3.7), можем сделать следующие выводы: наименьшая активность струйных течений наблюдается с мая по июль. За период с августа по ноябрь наибольшая активность СТ приходится на 2013 и 2015 годы. Максимальная разница активности приходится на август-месяц, где повторяемость струйного течения составляет 16 дней за 2013 год, за 2014 всего 4, а за 2015 наблюдались 11 дней струйные течения. При анализе годового хода СТ 2013-2015 гг. наблюдается общая тенденция активности струйных течений, которая приходится на холодное время года.

Для выявления диапазона высот действия струйного течения в процессе работы, по аэрологическим данным ТАЭ-3 был произведен анализ высот начальной границы струйного течения по критерию $V \geq 30$ м/с до нижней

¹³ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

границей тропопаузы, которая в свою очередь считается верхней границей струйного течения по данным. Данные высоты отображены в табл. 3.7 и рис. 3.8.

Таблица 3.7

Высоты нижней границы СТ и границы тропопаузы в 2013 г.¹⁴

Месяц	Нижняя граница СТ	Нижняя граница тропопаузы	Диапазон высот действия ТСТ
Январь	7,33	9,72	2,4
Февраль	5,58	8,82	3,2
Март	7,24	10,68	3,4
Апрель	7,97	10,66	2,7
Май	10,00	10,91	0,9
Июнь	10,53	11,74	1,2
Июль	8,50	13,11	4,6
Август	9,46	12,94	3,5
Сентябрь	9,33	12,37	3
Октябрь	8,57	11,34	2,8
Ноябрь	7,15	10,39	3,24
Декабрь	9,02	11,48	2,4

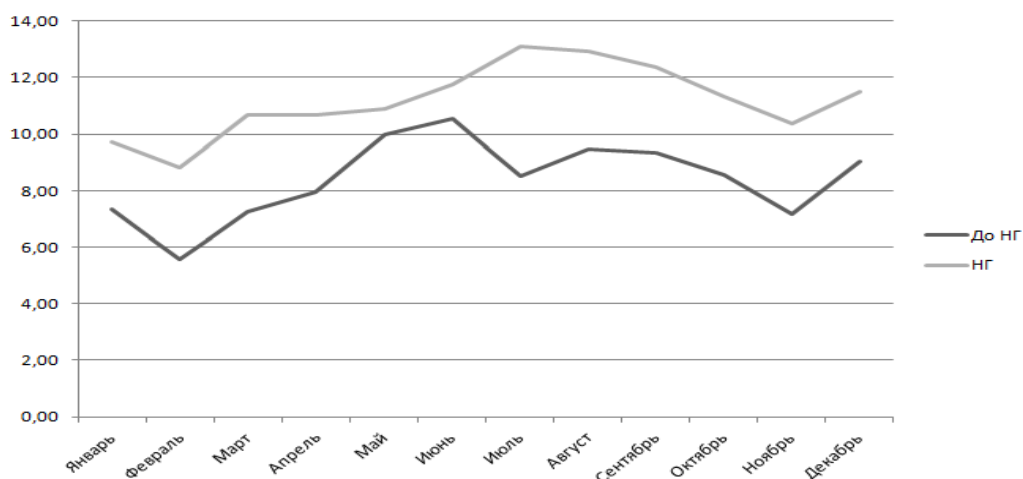


Рис. 3.8. Изменение диапазона высот СТ за 2013 г.¹⁵

Изменение диапазона высот струйного течения за 2013 год составляет в среднем около 3 км, минимум разности высот зафиксирован в мае (0,9 км) и

¹⁴ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

¹⁵ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

июне (1,2 км). Максимум пришелся на июль, и составил 4,6 км. Минимальная высота до нижней границе струйного течения составляет 5,58 км на февраль, а максимальная высота 10,53 км на июнь (табл. 3.7).

Таблица 3.8

Высоты нижней границы СТ и границы тропопавзы в 2014 г.¹⁶

Месяц	Нижняя граница СТ	Нижняя граница тропопавзы	Диапазон высот действия ТСТ
Январь	6,59	10,39	3,8
Февраль	7,53	10,01	2,5
Март	6,52	9,63	3,1
Апрель	8,83	10,26	1,4
Май	0	0	0
Июнь	12,00	13,20	1,2
Июль	9,00	13,35	4,3
Август	9,73	13,33	3,6
Сентябрь	11,60	13,90	2,3
Октябрь	10,00	12,04	2
Ноябрь	7,57	11,70	4,1
Декабрь	8,56	10,89	2,3

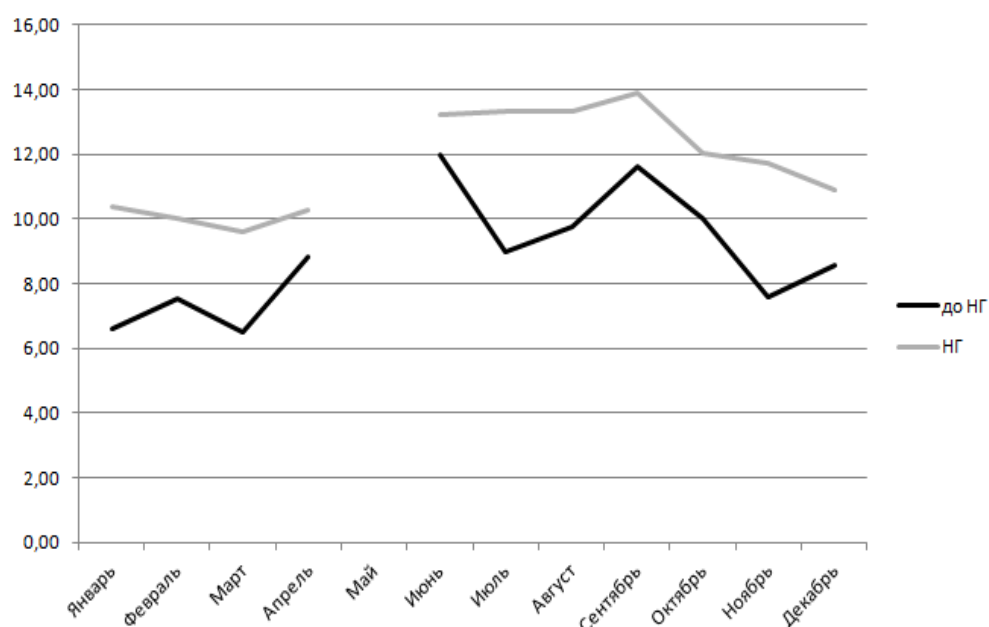


Рис. 3.9. Изменение диапазона высот СТ за 2014 г.¹⁷

¹⁶ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

¹⁷ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Изменение диапазона высот струйного течения за 2014 г. показывает, что минимум разности высот зафиксирован в июне (1,2 км). Максимум наблюдается в июле, и составил 4,3 км. Минимальная нижняя граница струйного течения равна 6,52 км и приходится на март, а максимальная высота равна 12 км на июнь (табл. 3.8, рис. 3.9).

Таблица 3.9

Диапазон высот действия ТСТ за 2015 г.¹⁸

Месяц	Нижняя граница СТ	Нижняя граница тропопаузы	Диапазон высот действия ТСТ
Январь	8,06	11,86	3,8
Февраль	7,04	13,69	6,65
Март	9,2	12,05	2,85
Апрель	7,92	10,88	2,96
Май	8,96	11,73	2,77
Июнь	12,11	14,6	2,49
Июль	9,91	14,98	5,07
Август	10,46	14,4	3,94
Сентябрь	10,27	13,44	3,17
Октябрь	7,64	11,54	3,9
Ноябрь	7,35	13,23	5,88
Декабрь	7,41	10,87	3,46

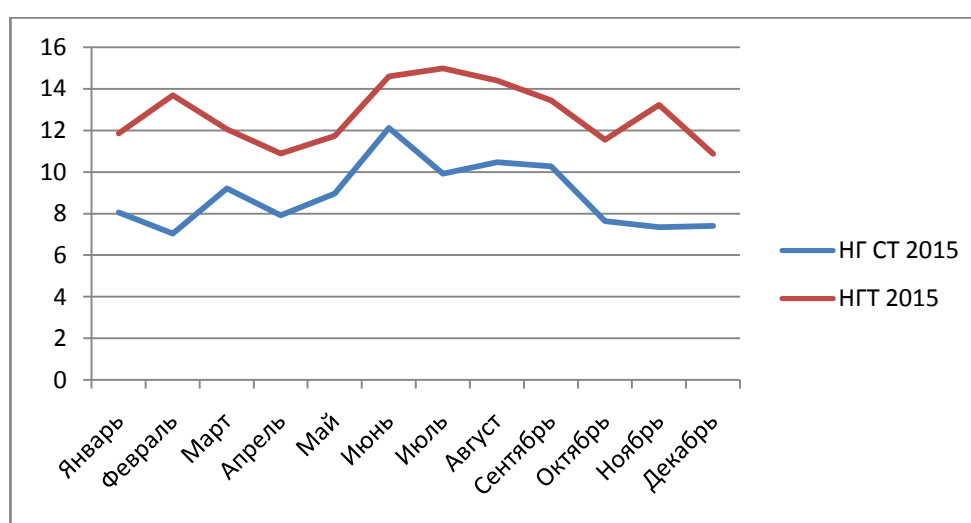


Рис. 3.10. Изменение диапазона высот СТ за 2015 г.¹⁹

¹⁸ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

¹⁹ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Изменение диапазона высот струйного течения за 2015 г. показывает, что минимум разности высот зафиксирован в июне (2,49 км). Максимум наблюдается в июле, и составил 6,65 км. Минимальная нижняя граница струйного течения равна 7,04 км и приходится на февраль, а максимальная высота равна 14,98 км на июль (табл. 3.9, рис. 3.10).

Полученные данные за три года были рассмотрены и проанализированы в графике рис. 3.11.

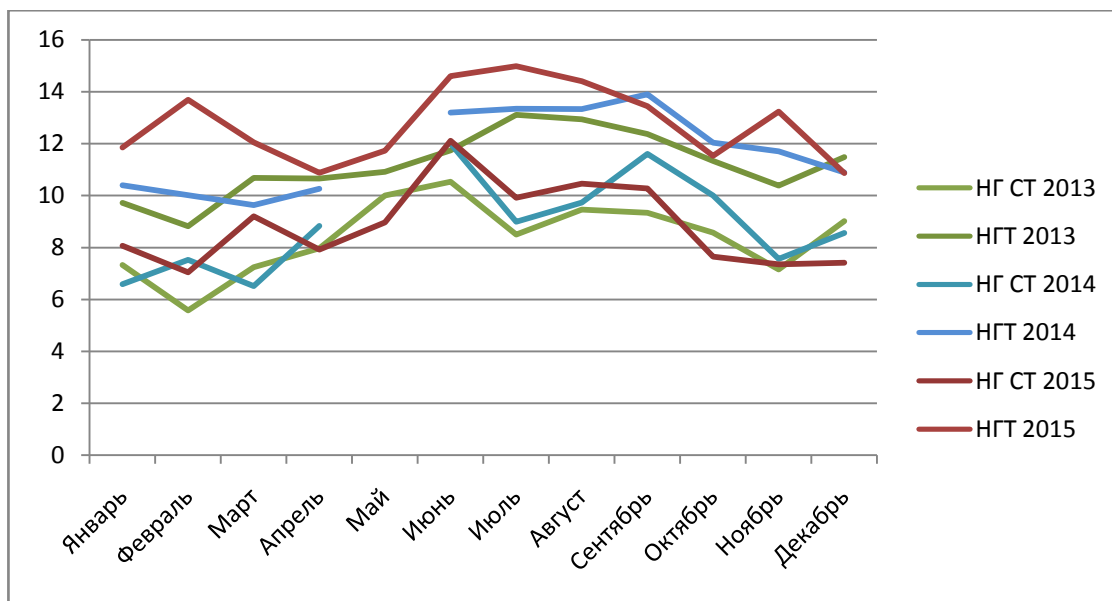


Рис. 3.11. График сравнения диапазонов высот СТ за 2013-2015 гг.²⁰

При сравнении графиков диапазона ветров за три года видим, максимум слоя составил 6,65 км на февраль 2015 года, минимальная высота регистрации струйного течения составила на февраль 2015 г. 5 км. Максимальная высота регистрации пришла на июнь 2015 года и составила 12,11 км.

При рассмотрении направления ТСТ были взяты данные направления и скорости из ТАЭ-3 за каждый месяц 2013года, произведен анализ направления ветра струйных течений, в результате чего была построена «роза ветров». На рис. 3.12 показано, что основное направление ветра тропосферного струйного течения приходится на ЮЗ сектор — практически половина наблюдаемых явлений — 48% и СЗ сектор — 42%.

²⁰ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

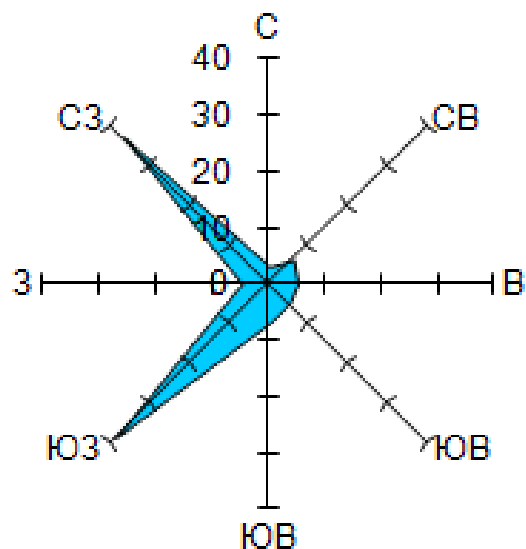


Рис. 3.12. Роза ветров СТ за 2013 г.²¹

По аналогии 2013 года, был произведен анализ направления ветра за следующие годы (рис. 3.13-3.14).

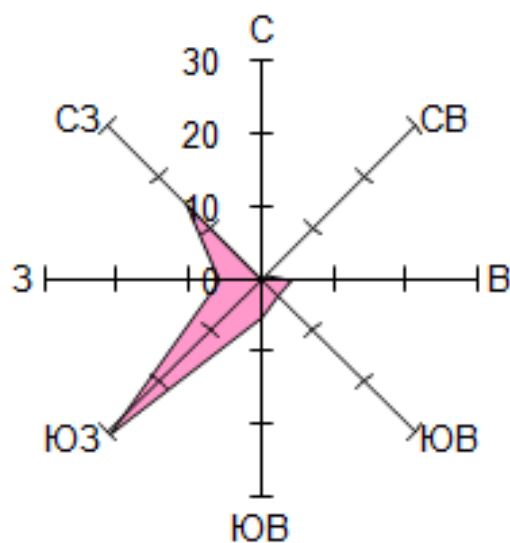


Рис. 3.13. Роза ветров СТ за 2014 г.²²

На рис. 3.13 видно, что основное направление ветра тропосферного струйного течения за 2014 год приходится также на ЮЗ сектор – 60% и СЗ сектор – 30%.

²¹ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

²² То же

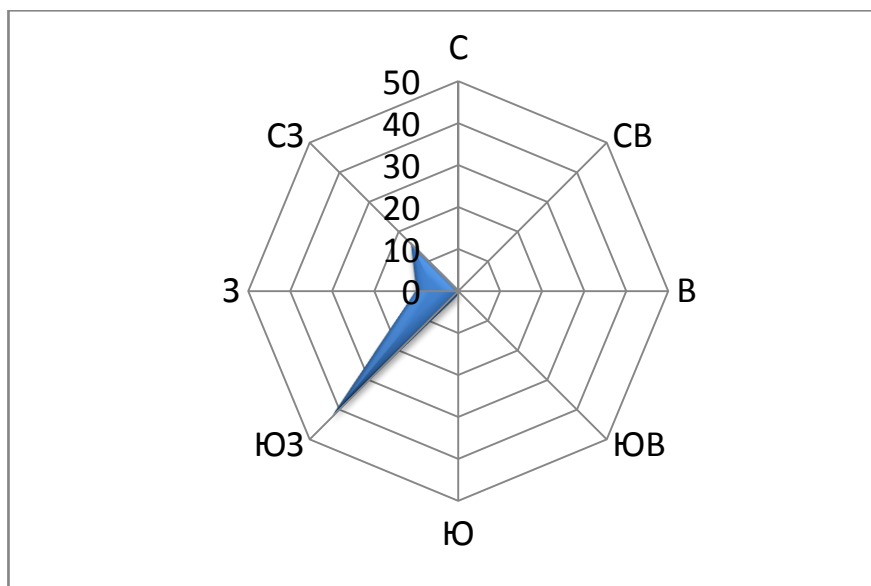


Рис. 3.14. Роза ветров СТ за 2015 г.²³

На рис. 3.14 видно, что основное направление ветра тропосферного струйного течения за 2015 год приходится на ЮЗ сектор – 58%, З сектор – 14% и СЗ сектор – 22%.

При рассмотрении данных направления ветра за три года видно, что основным является юго-западный ветер. За 2014 и 2015 год наблюдается преобладание ЮЗ направления над СЗ чем в 2013 году.

3.2 Стратосферные струйные течения

В исследований были рассмотрены количественные проявления стратосферного струйного течения (ССТ) по месяцам за три года на высотах 18000, 23000, 28000 и 32000 метров, изучена их интенсивность и направление.

На основе обработки этих данных, их систематизации и подсчета составлены таблицы, которые послужили основой для составления гистограмм и графиков, в которых можно наблюдать среднюю ежемесячную (за каждый месяц) скорость струйных течений, а также сделать сравнения исследуемого периода. Средняя скорость струйных течений за каждый месяц 2013-2015 гг. на

²³ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

высоте 18000 м сведена в табл. 3.10 и рис. 3.15.

Таблица 3.10

Средняя скорость СТ за 2013-2015 гг. на высоте 18000 м²⁴

	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сент	окт	ноя	дек
2013	30	32	31									33
2014	37	34,3	31,5									32,6
2015	31	33		30,8								34,6

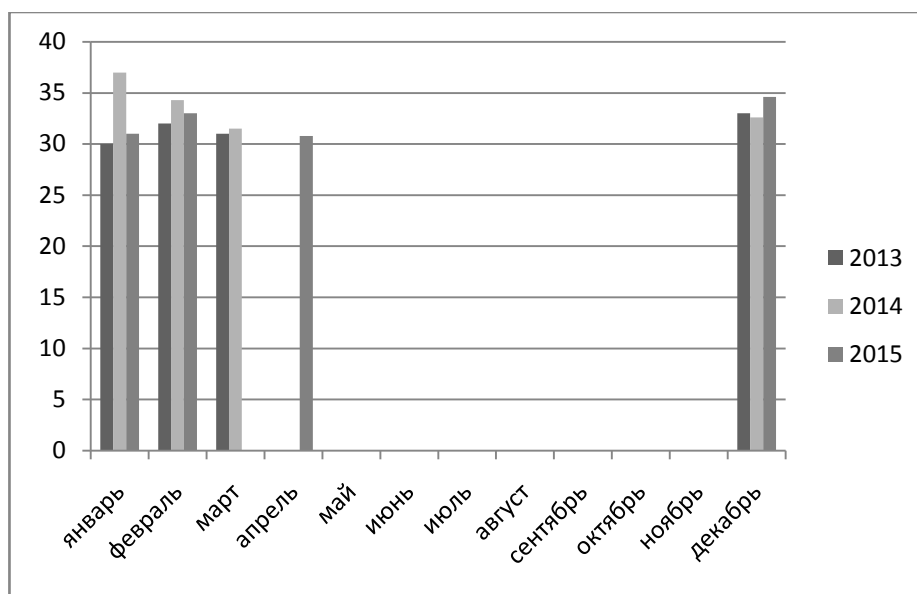


Рис. 3.15. Гистограмма средней скорости СТ за 2013-2015 гг. на высоте 18000 м²⁵

Анализ табличных данных (табл. 3.10) и гистограммы средней скорости СТ за два года (рис. 3.15) показал, что струйное течение наблюдается в холодный период, а именно с января по апрель и декабрь. Максимальная скорость ветра за 2013 год (33 м/с) был зафиксирован в декабре-месяце, в 2014 году в январе - 37 м/с, а в 2015 году в декабре 34,6. С мая по ноябрь СТ не наблюдаются.

Средняя скорость струйных течений за каждый месяц 2013-2015 гг. на высоте 23000 м сведена в табл. 3.11 и рис. 3.16.

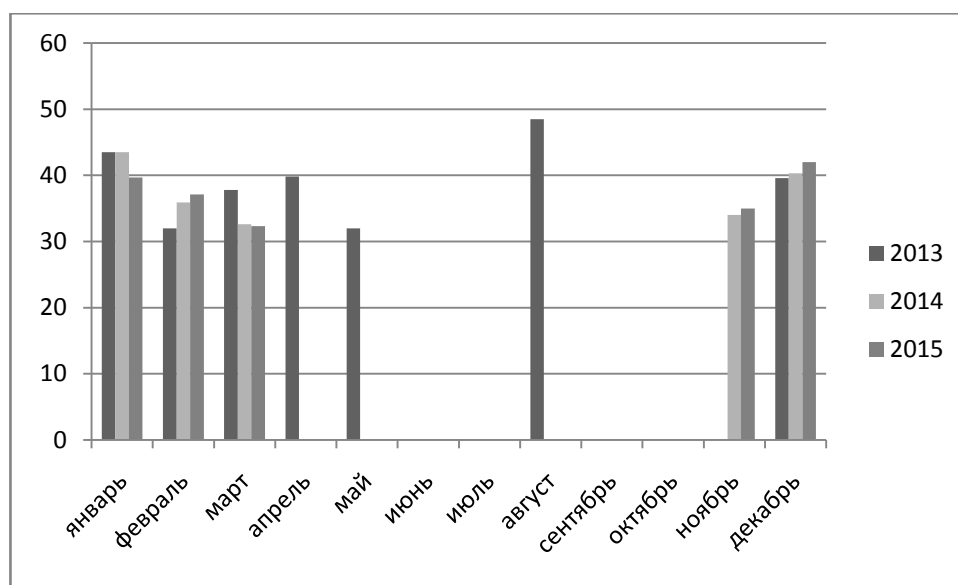
²⁴ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

²⁵ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Таблица 3.11

Средняя скорость СТ за 2013-2015 гг. на высоте 23000 м²⁶

	янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
2013	43,5	32	37,8	39,8	32			48,5				39,6
2014	43,5	35,9	32,6								34	40,3
2015	39,7	37,1	32,3								35	42

Рис. 3.16. Гистограмма средней скорости СТ за 2013-2015 гг. на высоте 23000 м²⁷

Анализ табличных данных (табл. 3.11) и гистограммы средней скорости СТ за три года (рис. 3.16) показал, что струйное течение в 2013 году наблюдается, как в холодный период, а именно с января по апрель и декабрь-месяц, так и в теплые месяцы (май и август) были замечены единичные случаи СТ. Максимальное значение скорости ветра за этот год 48,5 м/с, было зафиксировано в августе-месяце. В 2014 году тенденция СТ несколько изменилась. Струйные течения наблюдаются с января по март и с ноября по декабрь. Максимальное значение зафиксировано в январе – 43,5 м/с. В 2015 году тенденция струйных течений схожа с 2014 годом, максимальная скорость наблюдалась в декабре (42 м/с). Средняя скорость струйных течений за каждый

²⁶ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

²⁷ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

месяц 2013-2015 гг. на высоте 28000 м сведена в табл. 3.12 и рис. 3.17.

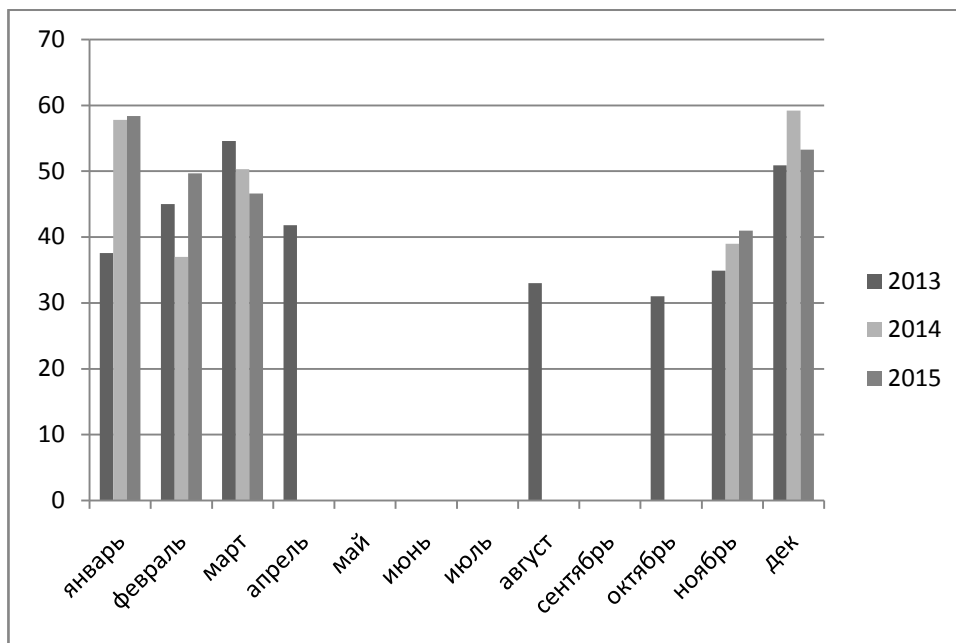


Рис. 3.17. Гистограмма средней скорости СТ за 2013-2015 гг. на высоте 28000 м²⁸

Таблица 3.12

Средняя скорость СТ за 2013-2015 гг. на высоте 28000 м²⁹

	янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
2013	37,6	45	54,6	41,8				33		31	34,9	50,9
2014	57,8	37	50,3								39	59,2
2015	58,4	49,7	46,6								41	53,3

Средняя скорость струйных течений за каждый месяц 2013-2015 гг. на высоте 32000 м сведена в табл. 3.13 и рис. 3.18.

Таблица 3.13

Средняя скорость СТ за 2013-2015 гг. на высоте 32000 м³⁰

	янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
2013	42,5	31	89	46,5						39,5	42,3	52
2014	48	34	48							35,8	36,6	27
2015	49,6	35,5	44,3	51						33,2	37,4	71

²⁸ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

²⁹ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

³⁰ То же

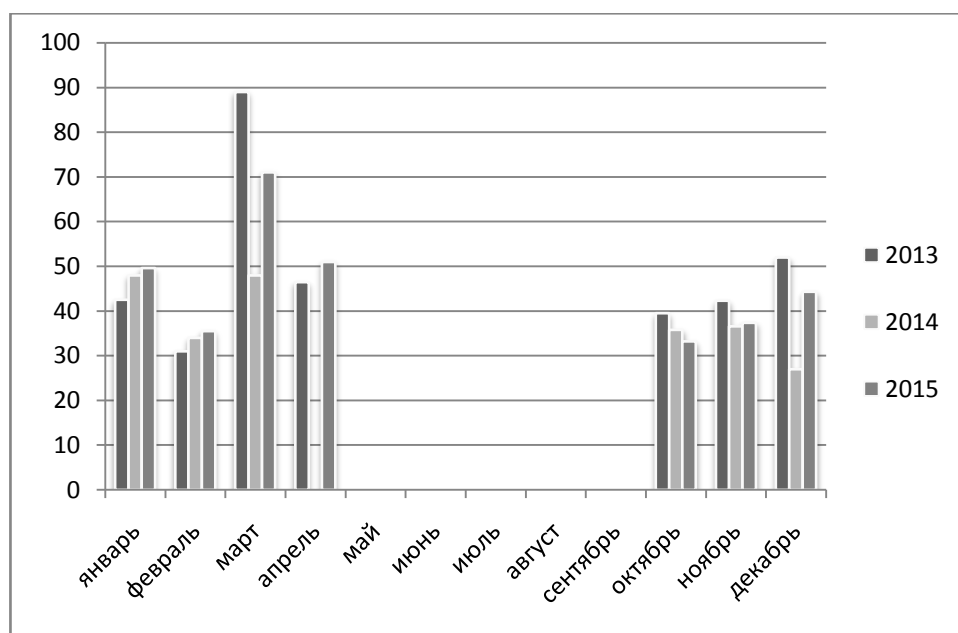


Рис. 3.18. Гистограмма средней скорости СТ за 2013-2015 гг. на высоте 32000 м³¹

Анализ табличных данных (табл. 3.13) и гистограммы средней скорости СТ за три года (рис. 3.18) показал, что струйное течение в 2013 году наблюдается с января по апрель и с октября по декабрь. Максимальное значение скорости ветра за этот год 89 м/с, было зафиксировано в марте. В 2014 году струйные течения наблюдаются с января по март и с октября по декабрь. Максимальное значение зафиксировано в январе и марте – 48 м/с. В 2015 году струйные течения наблюдаются с января по апрель и с октября по декабрь, максимальное значение скорости ветра за этот год 71 м/с, было зафиксировано в декабре.

При рассмотрении направления ССТ были взяты данные направления и скорости из ТАЭ-3 за каждый месяц исследуемого периода, произведен анализ направления ветра струйных течений, в результате чего была построена «роза ветров» (рис. 3.19-3.21).

На рис. 3.19 показано, что основное направление ветра стратосферного СТ за 2013 год приходится на ЮЗ сектор – 98%, другие направления практически отсутствуют.

³¹ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

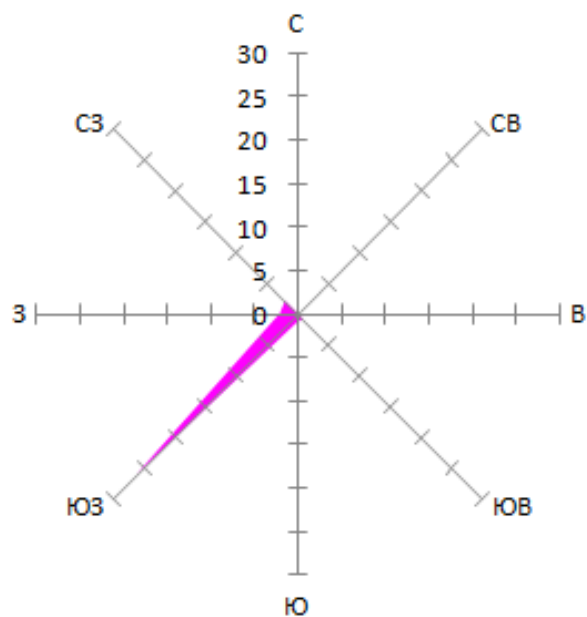


Рис. 3.19 Роза ветров СТ на высоте 23000 м за 2013 г.³²

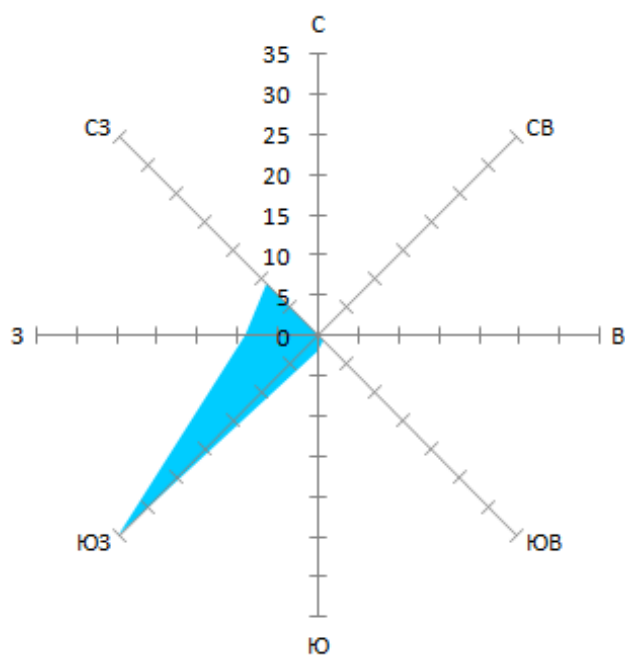


Рис. 3.20. Роза ветров СТ на высоте 23000 м за 2014 г.³³

На рис. 3.20 показано, что основное направление ветра стратосферного СТ за 2014 год приходится на ЮЗ сектор – 70%, на З сектор – 15%, на СЗ сектор – 15%.

³² Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

³³ То же

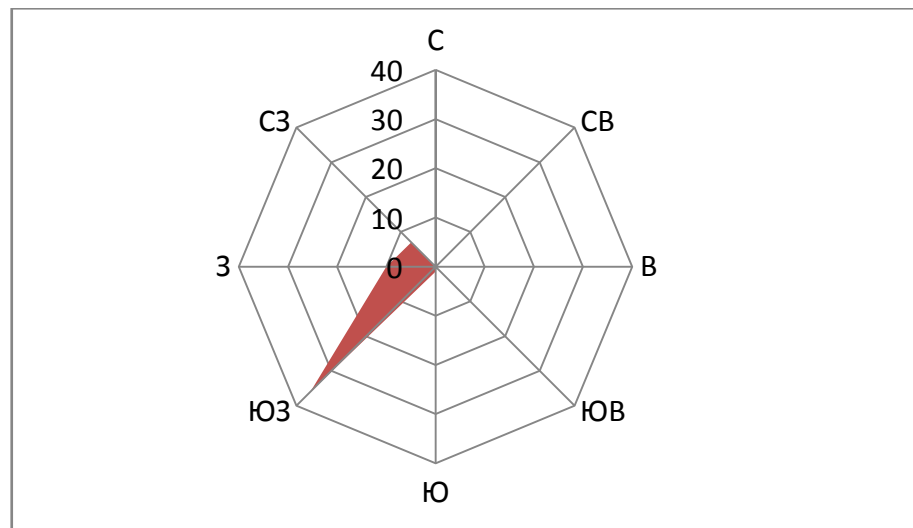


Рис. 3.21. Роза ветров СТ на высоте 23000 м за 2015 г.³⁴

На рис. 3.21 показано, что основное направление ветра стратосферного СТ за 2015 год приходится на ЮЗ сектор – 67%, на З сектор – 19%, на СЗ сектор – 14%.

При рассмотрении направления ветра в стратосфере за три года видно, что основным является юго-западный ветер.

³⁴ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Заключение

Проведено исследование более 2100 выпусков радиозондов за период 2013-2015г. По результатам можно сделать следующие **выводы**:

1. В 2013 году тропосферные струйные течения наблюдались в 107 днях, что составляет 29% от года. В 2014 году они наблюдались в 73 днях (20%). В 2015 году струйных течений было больше, чем в предшествующие годы - 128 дней (35%). В среднем за исследуемый период количество дней со струйными течениями составило 28%. В те же годы стратосферные струйные течения распределялись следующим образом: 36 (10%), 47(13%),72(20%) в целом имеет место подобия повторяемости струйного течения по годам в тропосфере и стратосфере;

2. Высокая скорость ветра струйного течения (150-200км/ч) оказывает большое влияние на путевую скорость самолета. При попутном движении имеет место увеличение скорости воздушных судов. Это дает существенную экономию топлива на ВС. При движении против струйного течения получается обратный эффект и возрастает расход топлива. Минимальные скорости ветра СТ составляют около 30 м/с. При этой скорости ветер начинает влиять на угол сноса самолета. В зависимости от скорости и класса самолета угол сноса может достигать 10-12 градусов. При больших скоростях ветра угол сноса увеличивается;

3. По результатам аэрологического зондирования тропосферное струйное течение (ТСТ) проявляется круглый год. Наивысшая активность приходится на холодный период. Максимальная скорость струйного течения за 2013-2015 гг. пришлась на декабрь и составила 73 м/с. Нижняя граница струйных течений наблюдалась на высоте около 5,4 км, а верхняя - примерно на 12,5 км. Максимальная высота слоя ТСТ составила 6,7 км, минимальная 0,9 км. Данные параметров направления ветра выявили два господствующих румба. Они приходятся на СЗ и ЮЗ секторы. По-видимому, направление ТСТ в значительной мере подстраивается к простиранию береговой линии и горной

цепи;

4. Стратосферное струйное течение наблюдалось на высотах 18, 23, 28 и 32 км. На протяжении 2013-2015 годов эти высоты зафиксированы в холодный период года. Установлено, что диапазон высот ССТ в максимальном его значении составил 16 км. Наивысшая скорость была зафиксирована в марте 2013 г. и составила 89 м/с на высоте 32 км. На выявленных высотах преобладает ЮЗ направление ССТ. Это направление слабее связано с рельефом местности.

Предложение по результатам данной ВКР. Целесообразно разработать современный лидар и устанавливать его на борт самолетов. В таком случае экипаж воздушного судна гражданской авиации сможет выявлять струйные течения, вызывающие турбулентность ясного неба. Соответствующая информация о сдвиге ветра обеспечит экипаж информацией об опасных метеоявлениях в СТ.

Список использованной литературы

1. Абдушлишвили К.Л., Керимов А.А. Сванидзе Г.Г. Опасные метеорологические явления на Кавказе. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 57 с.
2. Баранов А.М., Солонин С.В. Авиационная метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 331 с.
3. Баранов А.М. Фронтальные облака и условия полетов в них. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 245 с.
4. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: РГГМУ, 2005. – 328 с.
5. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. – СПб.: «БХВ Петербург», 2010. – 284 с.
6. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз для авиации – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 320 с.
7. Варагушин Ю.В. Петрова М.В. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России. – М.: Транспорт, 1995. – 210 с.
8. Ветлов И. П., Вельтищев Н. Ф. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 200 с.
9. Глушкова Н.И. Лапчева В.Ф. Руководство по диагнозу и прогнозу ОЯ по данным метеорологических локаторов и искусственных спутников Земли. – М.: ФСР, 1996. – 250с.
10. Говердовский В.Ф. Космическая метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 1995. – 220 с.
11. Госкомитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Методические указания по обработке данных МРЛ. – Л.: Гидрометеиздат 1978. – 235 с.
12. Зак М.Е., Мазурин Н.И. Метеорологические условия полета летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1988. – 285 с.
13. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Метеорология и гидрология. – М.: Издательство «Наука», 2005. – 250 с.
14. Кан С.И. Океан и атмосфера. - М.: Издательство «Наука», 1982. – 68 с.

15. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 235 с.
16. Маланичев С.А., Брылев Г.Б., Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 330 с.
17. Минакова Н.Е. Методическое письмо. Комплексное использование данных ИСЗ и МРЛ в анализе атмосферных фронтов. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 150 с.
18. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России. - М.: Гидрометеиздат, 1995. – 180 с.
19. Нейбургер М., Эдингер Д. Познание окружающей нас атмосферы. – М.: Издательство «Знание», 1985. – 97 с.
20. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология. – Екатеринбург, 2010. – 113 с.
21. Прох Л.З. Словарь ветров. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 93 с.
22. Руководство по прогнозированию метеорологических условий авиации. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 135с.
23. Солонин А.С. Бочарников Н.В. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». – СПб.: Гидрометеиздат, 2007. – 315 с.
24. Черный М.А., Кораблин В.И. Самолетовождение. – М.: Транспорт 1987. – 210 с.
25. Шметр С.М. Постнов А.А. Безрукова Н.А. Влияние мезометеорологических процессов в нижней тропосфере на условия полетов воздушных судов на малых и средних высотах. – М.: Гидрометеиздат 1988 – 195 с.