

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра метеорологии, экологии и охраны окружающей среды

**И.С. Брусенская, О.А. Подрезов**

**РЕЖИМ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО,  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА**

Бишкек 2011

УДК 551.554  
Б 89

Рецензенты:  
профессор Я.И. Рудаев, профессор Э.М. Мамыров.

Рекомендовано к изданию НТС КРСУ.

Брусенская И.С., Подрезов О.А.  
Б 89 Режим ветра на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана. – Бишкек:  
Изд-во КРСУ, 2011. – 143 с.

Изложены результаты климатических исследований режима ветра на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана, включающего Чуйскую, Чон-Кеминскую и Таласскую долины с их горными обрамлениями. Исследован режим приземного ветра в различных высотных зонах от днищ долин до гребневой зоны хребтов по многолетним наблюдениям 20 метеорологических станций, а также аэроклиматические характеристики ветра над Чуйской долиной по данным аэрологической станции «Фрунзе» до высот 3 км и специальным шаропилотным наблюдениям авиаметцентра аэропорта «Манас» до высот 1 км. Особое внимание уделено вертикальным сдвигам ветра в приземном слое над взлетно-посадочной полосой аэропорта «Манас», знание которых необходимо для метеорологического обеспечения безопасности полетов авиации.

Предназначено для специалистов-метеорологов, географов, экологов, а также аспирантов и студентов естественных специальностей и смежных областей знаний.

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ВЕТРА ССЗК .....	7
1.1. Орографические и циркуляционные условия территории, определяющие режим ветра .....	7
1.2. Горно-долинная циркуляция в изучаемом районе .....	11
1.3. Скорости и направления ветра в приземном слое .....	15
2. ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ВЕТРА ССЗК ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ .....	17
2.1. Классификация орографических условий расположений метеорологических станций .....	18
2.2. Режим средних скоростей ветра в приземном слое .....	19
2.3. Режим направлений ветра в приземном слое .....	36
2.4. Повторяемость горно-долинной циркуляции .....	42
2.5. Особенности режима средних скоростей ветра в нижней тропосфере над Чуйской долиной .....	48
2.6. Возможные повышения температуры в Чуйской долине при восточных и южных ветрах в зимний период .....	52
3. АЭРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ВЕТРА В ПГС НАД ЧУЙСКОЙ ДОЛИНОЙ .....	55
3.1. Исходный материал шаропилотных наблюдений, его первичная систематизация и обработка .....	56
3.2. Повторяемость направлений и скорость ветра у земной поверхности .....	58
3.3. Повторяемость направлений ветра на различных высотах ПГС .....	64
3.4. Высотные профили модуля скорости ветра в ПГС .....	72
3.5. Высотные профили зональных и меридиональных составляющих и результирующего ветра .....	78
4. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СДВИГИ ВЕТРА В ПГС НАД ЧУЙСКОЙ ДОЛИНОЙ .....	85
4.1. Понятие вертикального сдвига ветра и критерии его опасных значений для авиации .....	85
4.2. Методика вычисления вертикальных сдвигов ветра по наземным и шаропилотным данным .....	89
4.3. Вертикальные сдвиги ветра в приземном слое 10–40 м .....	92
4.4. Повторяемость различных градаций и вероятные максимальные значения вертикальных сдвигов ветра в слое 10–40 м .....	95
4.5. Высотные профили вертикальных сдвигов ветра в ПГС .....	102
ВЫВОДЫ .....	107
ЛИТЕРАТУРА .....	110
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	116

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АМСГ – авиационная метеорологическая станция (гражданская)

АМЦ – авиационный метеорологический центр

АС – аэрологическая станция

В/КС – собственная выборка / климатический справочник

ВПП – взлетно-посадочная полоса

ВСВ – вертикальные сдвиги ветра

ГДЦ – собственно горно-долинная циркуляция

ЕТС – европейская территория бывшего СССР

ИКАО – Международная организация гражданской авиации

МЕДВ – местное декретное время

МОДВ – московское декретное время

МС – метеорологическая станция

ОЦА – общая циркуляция атмосферы

ПГС – пограничный слой атмосферы

СГДЦ – склоновая горно-долинная циркуляция

ССЗК – Северный, Северо-Западный Кыргызстан

### Статистики:

$x$  – метеорологическая величина

$\bar{x}$  – среднее значение

$\bar{x}_m$  – среднее максимальное значение

$x_m$  ( $x_{\text{макс}}$ ) – абсолютное максимальное значение

$A(x)$  – коэффициент асимметрии

$E(x)$  – коэффициент эксцесса

$\sigma(x)$  – среднее квадратическое отклонение (СКО)

$C(x) = \frac{\sigma(x)}{\bar{x}}$  – коэффициент вариации

$f(x)$  – функция плотности вероятностей

$b_0$  – остаточный член линейной регрессии

$b_1$  – угловой коэффициент линейной регрессии

$r$  – коэффициент линейной корреляции

$s^2$  – дисперсия

$\pm CT$  – стандартные (средние квадратические) ошибки статистик

$D$  – коэффициент детерминации

$n$  – объем выборки

$T_{ia}$  – периоды превышения в годах верхних границ классов

## ВВЕДЕНИЕ

Ветер, наряду с температурой воздуха и осадками, является одной из наиболее важных климатических характеристик территории. Знание его режима необходимо для решения многих практических задач: градостроительства, оценки рассеивания примесей в атмосфере и состояния воздушного бассейна региона, метеорологического обслуживания авиации и сельского хозяйства, оценки рекреационных показателей территории и др.

Северный, Северо-Западный Кыргызстан (ССЗК) относится к северной периферии Тянь-Шаня. Он включает в себя Чуйскую, Таласскую, Чон-Кеминскую долины с их горными обрамлениями, представляет один из самых промышленно и сельскохозяйственно освоенных районов Кыргызстана. Здесь в наиболее обжитой Чуйской долине расположен город Бишкек – столица республики. Поэтому исследование режима ветра для такой орографически сложной и хозяйственно важной горной территории, расположенной в диапазоне высот 600–4000 м, имеет большую научную и практическую значимость.

Основные сведения о режиме ветра в Кыргызстане на сегодняшний день содержатся в двух климатических справочниках, где приведены данные наблюдений метеорологических станций без какого-либо их анализа [79, 110], в Атласе природных условий и ресурсов Киргизской ССР (1987 г.) [8], содержащем ряд ветровых карт и диаграмм, а также в монографии «Климат Киргизской ССР» [60], в которой помещены систематизированные на период 1960–65 гг. материалы по режиму ветра. Поэтому тематика настоящей монографии и представляется весьма актуальной как с научной, так и практической точек зрения.

Цель настоящего исследования – статистическое описание климатических закономерностей ветрового режима на территории ССЗК на основании имеющихся приземных и аэрологических данных.

Задачи:

1. Выявить и статистически описать климатические закономерности режима средних скоростей и направлений ветра в приземном слое по данным 20 метеорологических станций для различных типов орографических условий региона и различных высотных зон от подгорных равнин до гребневой зоны хребтов; сравнить эти результаты с данными для свободной атмосферы, полученными по наблюдениям аэрологической станции «Фрунзе».

2. Получить и статистически описать до сих пор не исследованные аэроклиматические характеристики режима ветра в пограничном слое атмосферы над Чуйской долиной до высот 900 м на основании специальных шаропилотных наблюдений, выполненных авиаметцентром «Манас» в 1984–1991 гг.

3. Получить и статистически описать аэроклиматические характеристики вертикальных сдвигов ветра в пограничном слое атмосферы над Чуйской долиной до высот 900 м (на основании специальных шаропилотных наблюдений, выполненных авиаметцентром «Манас» в 1984–1991 гг.), которые являются для авиации опасным метеорологическим явлением и которые в ССЗК до сих пор остаются совершенно не изученными.

Следует отметить, что режим сильных ветров на территории Кыргызстана достаточно полно изложен в монографиях [97–99] и в настоящем исследовании не рассматриваются.

При выполнении работы проведен большой объем статистических расчетов, что было бы просто невозможно без применения компьютерных технологий. Методическая часть работы может быть использована для аналогичных исследований в других горных регионах, особенно она полезна начинающим исследователям. Поэтому решение большинства статистических задач показано на конкретных примерах с доведением всех расчетов «до числа». Этой же цели служат приложения, в которых собраны основные результаты статистических расчетов и которые обеспечили научную и практическую достоверность полученных в работе выводов.

Авторы надеются, что предлагаемая монография, посвященная исследованию режима ветра в ССЗК, найдет надлежащее использование в научных, практических и учебных целях.

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ВЕТРА ССЗК

В настоящем разделе дается краткий обзор имеющихся публикаций по режиму ветра на изучаемой территории. Он включает сведения об орографических и общециркуляционных условиях ССЗК, а также известные на период до 2005 г. сведения о развитии здесь горно-долинной циркуляции, являющейся важной формой ветрового режима региона и характеристику ветров общей циркуляции атмосферы.

### 1.1. Орографические и циркуляционные условия территории, определяющие режим ветра

Кыргызстан расположен в центре самого большого континента – Евразии, на значительном удалении от океанов, занимая западную половину Тянь-Шаня и часть Памиро-Алая, которые являются одними из наиболее высоких горных поднятий земного шара.

Территория ССЗК, представляющая район настоящих исследований, относится к северной периферии Тянь-Шаня. Она включает в себя Чуйскую, Таласскую, Чон-Кеминскую долины и их горные обрамления, представленные склонами хребтов Заилийского, Кунгей, Киргизского и Таласского. На рис. 1.1 северная граница ССЗК показана как совпадающая с государственной границей Кыргызской Республики, а южная проходит условно с востока на запад по гребням хребтов Кунгей, Киргизского, Таласского до государственной границы с Казахстаном на западе. Протяженность Северного, Северо-Западного Кыргызстана с запада на восток составляет 535 км, с севера на юг в самом широком месте – около 100 км, площадь равна 26 тыс. кв. км. Это наиболее заселенный и экономически освоенный регион Кыргызстана. В Чуйской долине, самой обширной в Кыргызстане, расположена столица республики – г. Бишкек [8, 61, 101].

Горные хребты ССЗК имеют ряд общих черт. Прежде всего, они отличаются массивностью сооружений, большими средними высотами, а также практически широтной ориентацией и значительной протяженностью (табл. 1.1). В сущности, единую широтную климатобарьерную цепь протяженностью более 700 км образуют Кунгей Ала-Тоо и Киргизский Ала-Тоо, с развилкой на западе в результате отчленения к югу Таласского Ала-Тоо.

Таблица 1.1

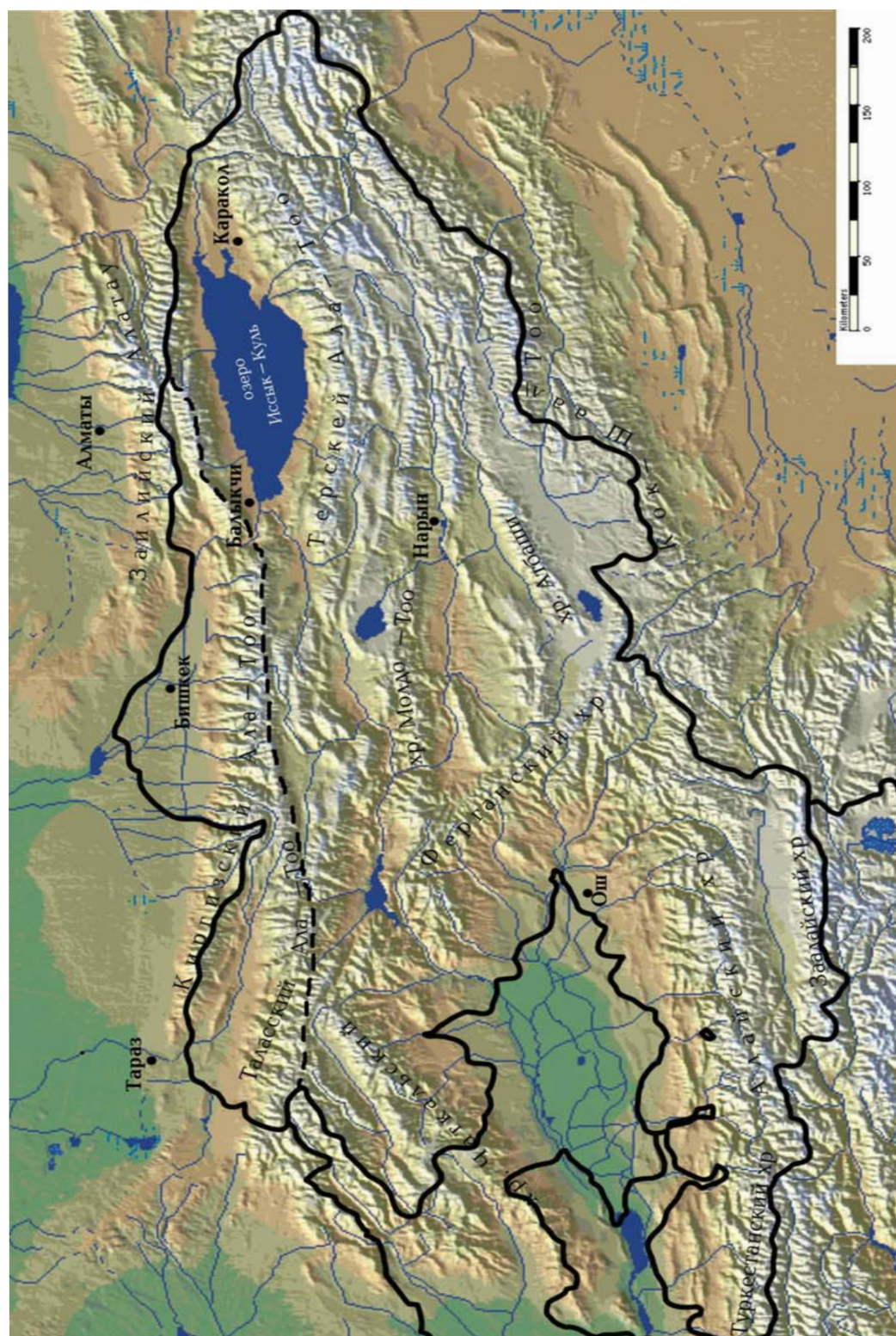
Основные характеристики хребтов ССЗК [8]

Названия хребтов	Длина хребта, км	Максимальная ширина, км	Наибольшая вершина		Средняя высота, км
			название	высота, км	
Киргизский	454	40	Аламедин	4,895	3,7
Кунгей	285	32	Чок-Тал	4,770	4,2
Таласский	260	40	Манас	4,482	3,9
Заилийский	120	30	Талгар	4,973	3,75

Как правило, склоны хребтов довольно круто спускаются к межгорным долинам и изрезаны многочисленными ущельями, ветвящимися и образующими сложную систему отщелков. Далее (вниз ущелья) обычно принимают V-образную форму [101].

Киргизский Ала-Тоо простирается в широтном направлении с востока на запад на 454 км, с наиболее возвышенной восточной частью. Средняя высота гребневой линии





— государственная граница Кыргызстана, - - - южная граница Северного, Северо-Западного Кыргызстана

Рис. 1.1. Карта Кыргызстана с границами Северного, Северо-Западного Кыргызстана



хребта около 3,7 км, а высшая точка – пик Аламедин – достигает 4,875 км. Главный водораздельный хребет узкий, скалистый, расчленен многочисленными вершинами [53].

Хребет Кунгей Ала-Тоо, также вытянутый в широтном направлении, имеет сильно расчлененный скалистый гребень со средней высотой около 4,2 км и протяженностью гребневой линии около 285 км. Он отделен от Заилийского Алатау долинами рек Чон-Кемин и Шилик. На востоке Кунгей Ала-Тоо смыкается с хребтом Терской Ала-Тоо. Условной границей между ними служит перевал Санташ (2,195 км).

Таласский хребет отчленяется от Киргизского к югу в верховьях реки Корумду. Длина его около 260 км, высшая точка – вершина Манас составляет 4,488 км. Средняя высота гребневой линии около 3,9 км, гребневая зона скалистая, местами узкая и усеяна зазубренными формами рельефа, ребристо-пирамидальными вершинами – пиками. В западную часть южного склона глубоко врезаются верховья рек Чаткал и Сандаш [53].

Наиболее северным хребтом является Заилийский Алатау, имеющий среднюю высоту гребня около 3,75 км и протяженность 120 км в пределах Кыргызстана. Продолжением его на запад – северо-запад служит постепенно понижающийся в том же направлении хребет Жеты-Жол с невысокими отрогами на севере (Киндык-Тас и Чу-Илийские горы), которые территориально относятся к Казахстану.

Долины (котловины) Северного, Северо-Западного Кыргызстана, Чуйская, Таласская и Чон-Кеминская (табл. 1.2), несмотря на существующие различия в размерах и строении, имеют ряд сходств: они широтно ориентированы, понижаются и расширяются в направлении с востока на запад (кроме Чон-Кеминской, которая закрыта с запада). Хребты возвышаются над днищами долин до 2–2,5 км.

Таблица 1.2

Основные характеристики долин (котловин) ССЗК [8]

Долина	Высота днища, км	Длина, км	Максим. ширина, км	Превышение хребтов, км
Чуйская	0,5–1,4	220	60	2,3–3,2
Таласская	0,8–1,7	140	26	2,0–3,0
Кеминская	1,4–1,8	29	8	2,4–2,8

Чуйская долина наиболее значительна по своим размерам (по длине больше Таласской в 2 раза, Кеминской – в 7,5 раз) и полностью открыта к западу и северо-западу, где она постепенно расширяется и переходит в песчаную пустыню Муюн-Кум. По сравнению с другими межгорными долинами ССЗК, ее днище расположено на более низких высотах (в пределах 500–1400 м) и может быть разделено на три части – осевую (наиболее низменную часть), подгорную равнину и подножье склонов.

Таласская долина является полузакрытой с запада [8, 60], в пределах Кыргызстана может быть разделена на две части. Западная, наиболее пониженная и широкая, непосредственно примыкает к Муюн-Кумам, включает среднее течение р. Талас и ее приток Каинды. Восточная отделена от западной невысокими грядами. Она более узкая, приподнятая, с высотами днища до 1600 м, переходящая в узкую долину на востоке. В отличие от Чуйской, Таласская долина замкнута с запада невысокими горами (1,5–2 км), что и позволяет характеризовать ее как полузакрытую.

Чон-Кеминская долина (наименьшая из трех) замкнута со всех сторон, более приподнятая, высота ее днища составляет 1,4–1,8 км. В ней отчетливо выделяются три части. Первая, самая западная, представляет собой узкое ущелье р. Капчигай протяженностью около 10 км. Вторая часть – расширенная, имеет форму котловины с длиной около 20 км и шириной до 10 км. Здесь ясно выражены террасы, по которым и располагается

большая часть поселков и посевов долины. Третья – восточная, опять суженная, является типичным ущельем.

Такие рельефо-орографические условия исследуемой территории должны оказывать очень сильное влияние на режим ветра и обуславливать следующие его особенности: 1) широкое развитие горно-долинных циркуляций и, как следствие, специфический и сильно меняющийся по территории режим направлений ветра; 2) общее торможение потоков общей циркуляции атмосферы горными системами Тянь-Шаня и Памиро-Алая, поэтому наблюдаются малые приземные скорости ветра (с большой повторяемостью затиший) вплоть до гребневой зоны высоких хребтов (3–3,5 км). Скорости, однако, могут резко увеличиваться на открытых гребнях, превышающих средний высотный уровень гор; 3) характерный режим ветра в тальвегах узких склоновых долин и микроравнин ССЗК – малые скорости и два преобладающих направления ветра вдоль оси долины; 4) в результате высота места, хотя и является важным фактором, однако играет второстепенную роль по сравнению с орографией.

Другим важным фактором, определяющим режим ветра, являются циркуляционные условия территории, которые могут быть описаны с помощью типов синоптических процессов Средней Азии [29] и Кыргызстана [90]. В табл. 1.3 приведены 17 типов синоптических процессов, наблюдающихся в Кыргызстане, а также их повторяемость по сезонам и за год в целом [90].

Таблица 1.3

Типы синоптических процессов Кыргызстана  
(ранжированы по повторяемости в году) [90]

Тип синоптического процесса	Повторяемость, %				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Повторяемость более 5,9%					
10. Западное вторжение	14,4	15,5	13,4	13,7	15,1
14. Теплый сектор циклона или предфронтальное положение	15,9	13,6	13,1	13,1	13,9
9. Юго-западная периферия антициклона	16,3	12,0	7,2	15,7	12,8
9а. Южная периферия антициклона	14,4	11,0	6,8	14,0	11,6
12. Малоградиентное поле пониженного давления	2,6	7,8	22,8	9,0	10,4
9б. Юго-восточная периферия антициклона	7,6	8,0	6,9	9,5	8,0
7. Волновая деятельность	8,9	8,8	6,4	5,5	7,4
12а. Малоградиентное поле повышенного давления	6,8	5,9	4,8	7,7	6,3
Повторяемость менее 5,9%					
5. Северо-западное вторжение	1,7	3,0	5,5	5,2	3,8
6. Северное вторжение	2,2	2,8	4,2	2,7	3,0
8. Малоподвижный циклон над Средней (Центральной) Азией	1,0	5,4	3,3	2,2	3,0
1. Южнокаспийский циклон	2,9	2,1	0,5	0,6	1,5
2. Мургабский циклон	2,1	2,3	0,2	0,4	1,3
3. Верхнеамударьинский циклон	1,6	1,4	0,4	0,4	0,9
13. Центральная часть антициклона	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
4. Широкий теплый вынос	0,1	0,2	–	0,1	0,1
11. Летняя термическая депрессия	–	–	1,5	–	–

Видно, что из 17 типов лишь 8 имеют повторяемость выше условной средней (5,9%) и в сумме наблюдаются в 85,5% случаев. На остальные 9 типов приходится только 14,5% повторяемости, и в году они регистрируются в 0,1–3,8% случаев. Описание погодо-

климатических условий и другие характеристики типов синоптических процессов можно найти в [29, 68].

С каждым типом синоптического процесса связан характерный тип погоды, в том числе и режима ветра. Направления ветра – от западных до северо-западных и северных – связаны соответственно с вторжениями с запада (тип 10), северо-запада (тип 5) и севера (тип 6). При этих типах синоптических процессов чаще, чем при других, могут наблюдаться сильные ветры. Такие же направления ветра отмечаются при возникновении над Центральной Азией малоподвижного циклона (тип 8), хотя скорости ветра, наблюдающиеся при этом типе, малы.

При установлении антициклонических погод отмечаются ветры восточных направлений с умеренными скоростями. Так, для юго-восточной (тип 9а) и южной (тип 9б) периферий антициклона характерны С, СВ и В румбы, а для типа 9 (юго-западная периферия антициклона) – В, ЮВ и Ю румбы. Такая погода способствует возникновению фенов, имеющих восточное направление в широтных долинах ССЗК и южное в меридиональных склоновых долинах его широтных хребтов. Кроме этого, слабые ветры восточного направления могут наблюдаться при типе 13 – центральная часть антициклона.

Восточные направления и сильные скорости ветра могут отмечаться при типе 14 – теплый сектор циклона или предфронтальное положение. При волновой деятельности (тип 7) также могут наблюдаться повышенные скорости ветра с частой сменой направлений и преобладанием С и СВ румбов.

Для циклонических прорывов через юг Центральной Азии из Ирана и Афганистана (типы 1, 2, 3 и 4) характерны направления ветра от южного до западного, скорости при этих процессах редко достигают больших значений. Следует отметить, что годовая повторяемость этих типов мала, а летом они практически отсутствуют.

Слабые ветры и штили в основном наблюдаются при установлении летней термической депрессии (тип 11), малоградиентных полей пониженного (тип 12) и повышенного (тип 12а) давления.

Как будет показано далее, такие орографические и циркуляционные условия территории определяют преобладающий фон малых скоростей ветра и большую повторяемость затиший, одновременно создавая очень широкий спектр режима направлений на ее различных участках.

## **1.2. Горно-долинная циркуляция в изучаемом районе**

Одним из факторов, определяющих режим ветра в ССЗК, являются сложные рельефо-орографические условия территории, которые обуславливают здесь широкое развитие и многообразие горно-долинных циркуляций. Поэтому исследование этих циркуляций всегда представляло научный и практический интерес.

Впервые обстоятельно горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня рассмотрена в работе Н.Ф. Гельмгольца [35], вышедшей в 1963 г. На основе 5-летних наблюдений за ветром (1955–1959 гг.) на 35 метеорологических станциях, расположенных на северных склонах и в предгорьях Киргизского и Заилийского Ала-Тоо, шаропилотных и других данных в ней изучен режим и структура циркуляции между северными склонами этих передовых хребтов и их подгорными равнинами (подчеркнем, что это *склоновая горно-долинная циркуляция* – СГДЦ), ее влияние на суточный ход различных метеоэлементов, вертикальная структура и суточный цикл развития циркуляции. Эти исследования относятся и к Чуйской долине. Из [35] следует, что скорости циркуляции малы у земной поверхности (1–3 м/с), а горная составляющая в подгорной зоне Киргизского

Ала-Тоо имеет южное и смежные с ним направления (ЮЗ, Ю, ЮВ румбы), долинная составляющая – северное и смежные с ним направления. При этом горный ветер дует примерно с 7–8 вечера до 7–8 утра, т.е. значительную часть суток, тогда как долинный – только около 1/3 суток. Циркуляция хорошо прослеживается в зоне 10–20 км от подножья и в значительной мере исчерпывает здесь режим ветра при малооблачной погоде (мало-градиентных полях).

Однако наряду со склоновой горно-долинной циркуляцией в Чуйской долине развита более мощная *горно-долинная циркуляция*, кольцо которой ориентировано вдоль оси долины (обозначим ее как ГДЦ), т.е. почти широтно и перпендикулярно к СГДЦ. Ее горная составляющая соответствует В и СВ румбам, а долинная – З и СЗ румбам, т.е. последняя совпадает с преобладающими направлениями ветра ОЦА. Вертикальная структура ГДЦ и некоторые другие ее характеристики были исследованы О.А. Подрезовым [98] по данным 10-летних (1974–1983 гг.) радиозондовых наблюдений за ветром на аэрологической станции «Фрунзе». Кольца ГДЦ захватывают осевую часть Чуйской долины и подгорную равнину, постепенно ослабевая к подножью склонов. Поэтому подгорная равнина Киргизского хребта в пределах долины является «конкурентной зоной» охвата той или иной из этих двух форм циркуляции с абсолютным преобладанием ГДЦ в осевой части долины и аналогичным преобладанием СГДЦ в зоне склонов и подножья хребта. Наглядно эти взаимно перпендикулярные кольца циркуляции – ГДЦ и СГДЦ – показаны на рис 1.2, на котором изображено также предполагаемое второе кольцо СГДЦ (2б), находящееся на территории Казахстана и до сих пор не изученное.

В работе [98] по массовым данным радиозондирования по сезонам года для дня и ночи были рассмотрены такие важные характеристики обеих циркуляций, как мощность их нижних течений по вертикали, максимальные скорости и их высоты на вертикальном про-

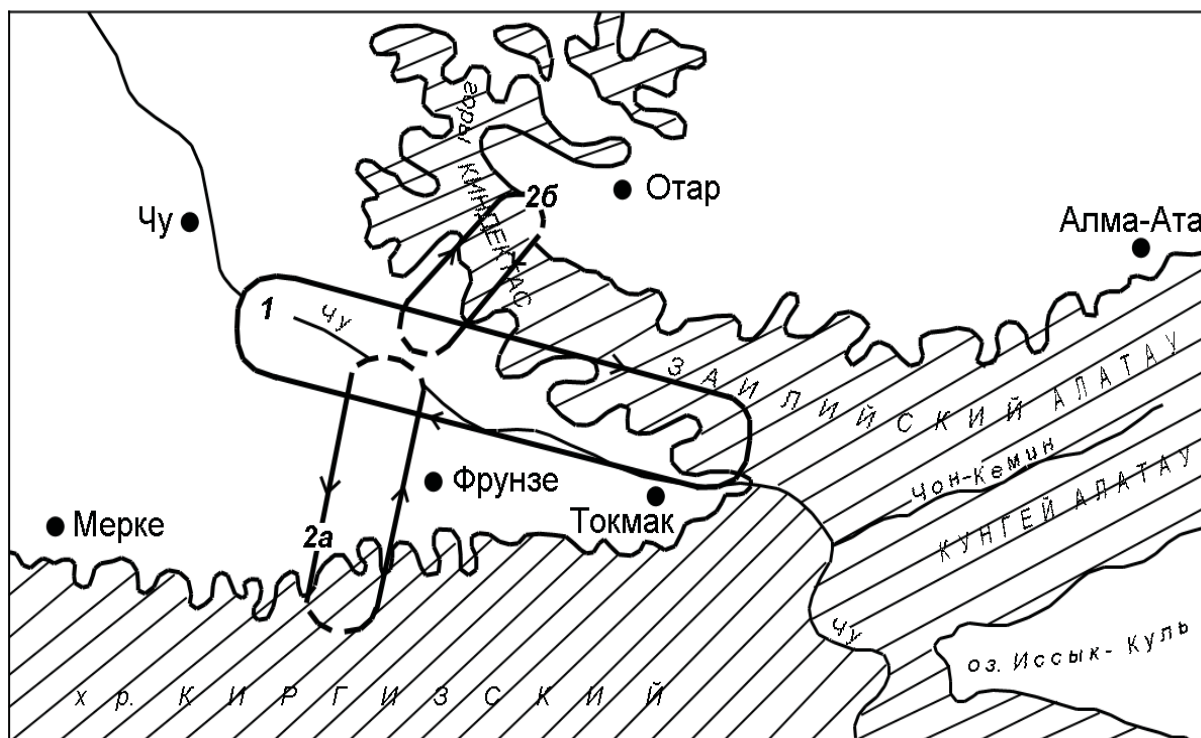


Рис. 1.2. Схема орографических условий Чуйской долины. Ночные кольца: 1 – ГДЦ, 2а, 2б – СГДЦ (нижними стрелками на кольцах показаны ночные горные составляющие, а верхними – противотечения) [90, 98]

филе модуля ветра для составляющих СГДЦ и ГДЦ, а также случаев дневного гравитационного стока зимой. Получено (табл. 1.4), что мощность горного ветра СГДЦ практически не зависит от сезона и равна около 0,20 км, тогда как для долинного ветра она почти в два раза больше летом (0,74 км), чем зимой (0,40 км). Эта закономерность, хотя и менее четкая, справедлива и для ГДЦ. Среднее значение мощности горного ветра для ГДЦ по сезонам колеблется около 1 км, а мощность долинного ветра может достигать 1,5 км. Максимальные скорости ГДЦ (средние максимальные значения) равны: для горного ветра – 4,3–5,5 м/с, для долинного – 5,1–5,9 м/с, больше, чем СГДЦ (средние максимальные значения равны: для горного ветра – 1,8–2,0 м/с, для долинного – 2,1–3,9 м/с).

Таблица 1.4

Средние значения мощности ( $\bar{H}$ , км) и максимума скорости  
на вертикальном профиле ( $\bar{V}$ , м/с) нижнего течения СГДЦ и ГДЦ [98]

Ветер (составляющие)	СГДЦ		ГДЦ	
	$\bar{H}$ , км	$\bar{V}$ , м/с	$\bar{H}$ , км	$\bar{V}$ , м/с
Зима				
Горный	0,21	1,9	1,13	5,5
Долинный	0,40	2,1	1,05	5,9
Стоковый	0,19	1,5	0,92	4,7
Весна				
Горный	0,19	1,8	1,02	4,7
Долинный	0,67	3,9	1,50	5,5
Стоковый	0,34	2,5	1,29	4,7
Лето				
Горный	0,22	2,0	0,86	4,3
Долинный	0,74	3,9	1,17	5,1
Стоковый	0,48	4,8	0,77	5,0
Осень				
Горный	0,20	1,9	1,05	5,0
Долинный	0,64	3,6	1,24	5,3
Стоковый	0,43	2,4	0,64	4,5

В работе И.А. Павловой [90] рассмотрена связь этих горно-долинных циркуляций в Чуйской долине с различными типами синоптических процессов над территорией Кыргызстана. Оказалось (рис. 1.3), что она может развиваться при 9–14 типах из 17 в зависимости от сезона года. При этом преимущественная повторяемость развития ГДЦ и СГДЦ (около 90%) соответствует только 6 типам синоптических процессов – 9, 9а, 14, 12, 12а и 10 (названия см.: п. 1.1, табл. 1.3). В среднем для года они следующие: типы 9 и 9а – 21 и 19% соответственно, тип 14 – 15%, тип 12 и 12а – 14 и 11% соответственно, тип 19 – 7%. В зависимости от сезона года меняется ранжировка их повторяемости и незначительно их состав.

В Таласской долине режим горно-долинной циркуляции наиболее подробно рассмотрен С.Г. Чанышевой [116]. На основе данных экспедиционных шаропилотных наблюдений, организованных САНИГМИ в четырех пунктах долины в августе – сентябре 1955 г., показано, что ГДЦ отчетливо развивается на всем протяжении долины, причем наибольшую повторяемость имеют горные ветры В направления. Это направление является преобладающим в течение суток в холодный период года, а летом и днем оно сменяется западным – долинным. Такая картина ГДЦ сохраняется до уровня 2 км, который является переходным к тропосферному переносу, где все направления равновероятны.



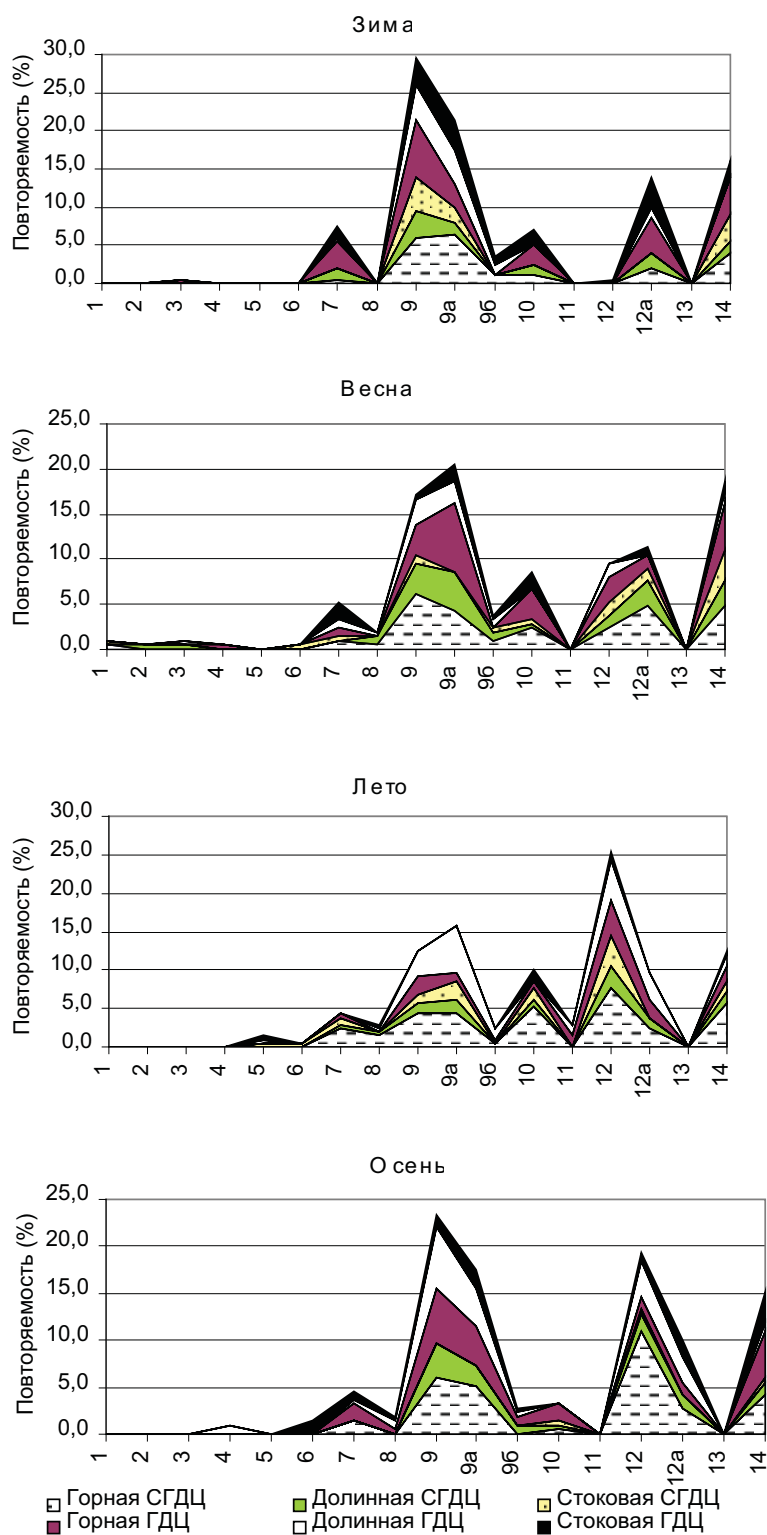


Рис. 1.3. Относительная повторяемость горных, долинных и стоковых составляющих для СГДЦ и ГДЦ при различных типах синоптических процессов (названия типов см. в табл. 1.3). Верхняя граница диаграммы соответствует общей повторяемости СГДЦ и ГДЦ для типа синпроцесса, повторяемость каждой отдельной составляющей равна ширине полосы ее заливки. Например, зима: тип 9 имеет общую повторяемость 29,5%, в том числе для ГДЦ гравитационный сток – 3,5%, долинный ветер – 4,5%, горный – 7,5%; для СГДЦ стоковый ветер – 4,5%, долинный – 3,5%, горный – 6,0% [90]

Также показано, что на режим ГДЦ могут влиять холодные вторжения, при которых, как правило, горная составляющая ветра выражена очень слабо. В работе приводится подробная характеристика составляющих ГДЦ (долинный и горный ветер) у земли в потоке, значение и высота максимума ветра на его высотном профиле и др.

Метод количественной оценки повторяемости горно-долинной циркуляции по приземным ветровым данным предложен О.М. Стрижанцевой [111]. Суть его состоит в том, чтобы используя повторяемость направлений горной составляющей и штилей по данным для сроков 1 или 7 ч, перейти к оценке суточной частоты наблюдений горного ветра. Такие расчеты в [111] были проведены для 10 станций, расположенных в различно ориентированных долинах и впадинах Юго-Западного Кыргызстана. Получено, что повторяемость развития СГДЦ в различных долинах и впадинах колеблется в широких пределах – от 13 до 79 % в году (от 48 до 248 суток).

В других работах, где рассматривается режим ветра в ССЗК [8, 60], вопросы развития горно-долинной циркуляции освещены лишь схематично, преимущественно реферативно, со ссылками на работы упомянутых авторов более ранних лет.

Таким образом, до сих пор, несмотря на несомненную обстоятельность проведенных исследований по развитию горно-долинной циркуляции в ССЗК, остается еще ряд открытых вопросов ввиду сложности и многообразия ее режима. Например, требуется знание оценки повторяемости горно-долинных циркуляций в Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долинах, степени ее развития на различной удаленности от подошвы хребтов, особенностей профиля ветра в различных зонах подгорных равнин и некоторые другие.

### **1.3. Скорости и направления ветра в приземном слое**

Исследованию режима ветра на территории Кыргызстана, в частности ССЗК, посвящен ряд работ, в которых рассматриваются его основные черты [8, 30, 35, 60, 79, 90, 94–99, 110, 114–116].

Необходимая начальная информация о режиме ветра в виде различных таблиц представлена в двух климатических справочниках: по данным на период до 1964 г. для 75 метеостанций [110] и до 1980 г. для 33 станций [79]. В них приведены такие основные режимные характеристики, как средняя годовая и средняя месячная скорость ветра, повторяемость различных градаций скорости и их сочетаний по направлениям, повторяемость направлений ветра и число штилей, максимальная скорость ветра. Справочник [79] по сравнению с [110] расширен новыми видами климатических показателей – среднеквадратическим отклонением, коэффициентами асимметрии и вариации скорости ветра, но значительно сужен по числу приводимых станций. Данные этих справочников являются основой для исследования режима ветра.

Монография «Климат Киргизской ССР», вышедшая в 1965 г. [60], до настоящего времени остается самым полным описанием климата Кыргызстана, в том числе и режима ветра. В этой работе дается общее описание режима направлений ветра в различных высотных зонах Кыргызстана, рассматриваются средние месячные и годовые скорости ветра, повторяемость и вероятность ветра различной скорости. Позднее на основе этой работы и справочников [79, 110] был составлен «Атлас природных условий и ресурсов Кыргызстана» [8], в котором содержатся схематичные ветровые карты, составленные по данным 14–18 метеостанций (МС) для центральных месяцев сезонов с указанием повторяемости ветра по 8 румбам и штилей, средней скорости ветра, вероятности возникновения один раз в 10 лет ветра различной скорости. Основные карты дополнены графиками (суточного, месячного и годового хода скорости ветра) и таблицами (наибольшее число

дней с сильным ветром, наибольшие скорости различной вероятности 1 раз в 1 год, 5, 10, 15 и 20 лет).

Оказалось, что в целом для всей территории Кыргызстана характерны малые средние годовые и средние месячные скорости ветра, как правило не превышающие 2–3 м/с, значительная повторяемость штилей (10–40%) и сложный режим направлений ветра. На ожидание таких особенностей режима ветра нами указывалось в п. 1.1 и 1.2. Эти черты режима видны на рис. 1.4, где приведены розы направлений для года по 40 МС.

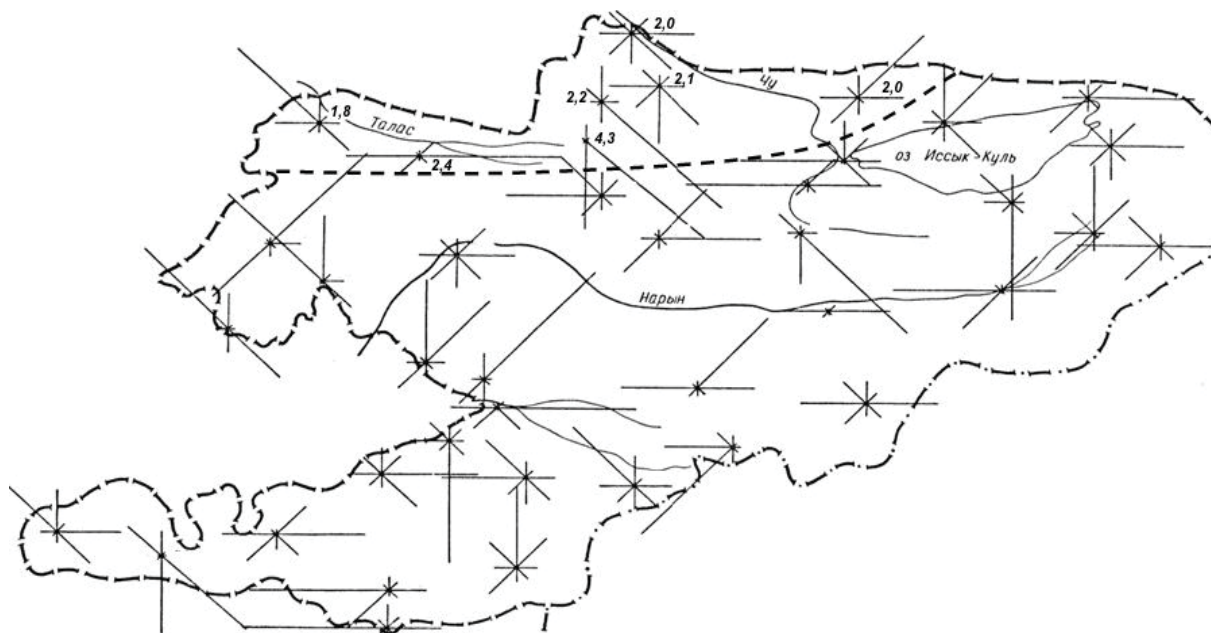


Рис. 1.4. Розы повторяемости направлений ветра в Кыргызстане со средними годовыми скоростями (м/с) в ССЗК (--- южная граница ССЗК) [110]

В работах [8, 60, 79, 110] также установлена определенная зависимость режима ветра от орографических и циркуляционных условий. Показано, что на территории Кыргызстана и ССЗК хорошо развиты горно-долинные ветры, направление составляющих которых определяется ориентацией долин и хребтов. Основные характеристики горно-долинной циркуляции в Чуйской долине приведены в работах [35, 90, 98], а в Таласской долине – в работе [115, 116].

Так, в Чуйской долине, в ее восточной части, преобладают ветры В и З румбов (горно-долинные ветры) по оси долины. В западной части долина расширяется и открывается с севера, благодаря чему здесь отмечаются ветры почти всех направлений, с небольшим преобладанием ветров В и ЮВ румбов. На подгорной равнине Киргизского хребта и на его склонах доминируют ветры южных румбов (склоновый ветер). В верхней части склонов (пригребневые зоны) начинает все более сильно сказываться влияние ветров общей циркуляции атмосферы (западные направления ветра над горами), которые за счет горного трения непосредственно у земной поверхности приобретают южные и близкие к ним направления.

Аналогичная картина в распределении направлений ветра характерна и для других долин ССЗК – Таласской и Чон-Кеминской. В соответствии с ориентацией в Таласской долине доминируют ветры З и В румбов, а в Чон-Кеминской – ветры СВ и В, ЮЗ и З направлений.

В долинах ССЗК при малоградиентных полях в темную часть суток в основном преобладают горные составляющие горно-долинной циркуляции или склоновой горно-

долинной циркуляции (восточное и южное направление ветра). Днем доминируют долинными составляющими циркуляций (западная и северная), которые часто усиливаются и маскируются ветрами ОЦА.

Скорости ветра в нижней и среднегорной зонах ССЗК, как правило, малы – в среднем за год составляют 1–3 м/с (рис. 1.4), в годовом ходе наблюдается их некоторое увеличение в весенне-летний период (на 1 м/с). Выше, в пригребневой зоне, средние годовые скорости за счет воздействия ветров ОЦА могут достигать 4–5 м/с. При этом наибольшие из них (до 6 м/с), как и в свободной атмосфере, наблюдаются в осенне-зимний период года. Суточный ход скорости ветра выражен слабо – суточная амплитуда не превышает 2 м/с, в зависимости от рельефа местности. Закономерный суточный ход изменения ветра в основном проявляется с февраля или марта и до ноября. Повторяемость штилей относительно велика и находится в пределах 12–41%.

Причиной малых скоростей ветра является тормозящее влияние горных систем Тянь-Шаня и Памиро-Алая на поле ветра нижней тропосферы. Так, в работе [94] указывается, что сильные потоки над Тянь-Шанем и Памиро-Алаем могут испытывать деформацию как в вертикальной плоскости, когда они тормозятся в нижних слоях и усиливаются в верхней тропосфере, так и раздваиваться, образуя две ветви струйных течений в горизонтальной плоскости. На существенное торможение потоков в нижних слоях толщиной до 3 км и в предгорной зоне указал еще Н.Ф. Гельмгольц [35]. Основываясь на данных наземных и шаропилотных наблюдений, он показал, что на предгорных станциях скорости ветра у земли очень малы (1,4–2,2 м/с) и медленно увеличиваются с высотой вплоть до пригребневой зоны, достигая значений 5 м/с только на высотах около 3 км, а 10 м/с – на высоте 4 км и более. Аналогичные результаты позже, по данным радиозондовых наблюдений, были получены и опубликованы в работах [97–99].

Исследованию режима сильных ветров в Кыргызстане посвящены работы [97–99], где отмечено, что наибольшая повторяемость сильных ветров (до 80%) наблюдается в теплый период года и связана с прохождением холодных фронтов (ветры 3 румбов). Зимой и осенью сильные ветры могут быть обусловлены развитием фенов (ветры В и Ю румбов с повторяемостью до 30%). Число бурь, по данным станций, невелико – в среднем в году составляет 10–15 (максимальное – 20–30), а их скорости в долинах не превышают 20–25 м/с. Однако в гребневых зонах высоких хребтов максимальные скорости ветра возрастают, достигая на орографически незащищенных участках 35–40 м/с. При этом в узких склоновых долинах на всех высотах максимальные скорости малы – 15–20 м/с, т.е. они еще ниже, чем в долинах.

## **2. ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ВЕТРА ССЗК ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Краткий реферативный обзор ветровых условий ССЗК (см. раздел 1) дает только самое общее представление о режиме ветра на его территории. В настоящем разделе для различных территориально-высотных зон долин ССЗК и их горных обрамлений приводятся результаты исследований режима средних скоростей, повторяемости их направлений, повторяемости горно-долинных циркуляций (ГДЦ и СГДЦ), а также режима средних скоростей в нижней тропосфере над Чуйской долиной и фенового эффекта восточных и южных на основе всех доступных материалов наблюдений.

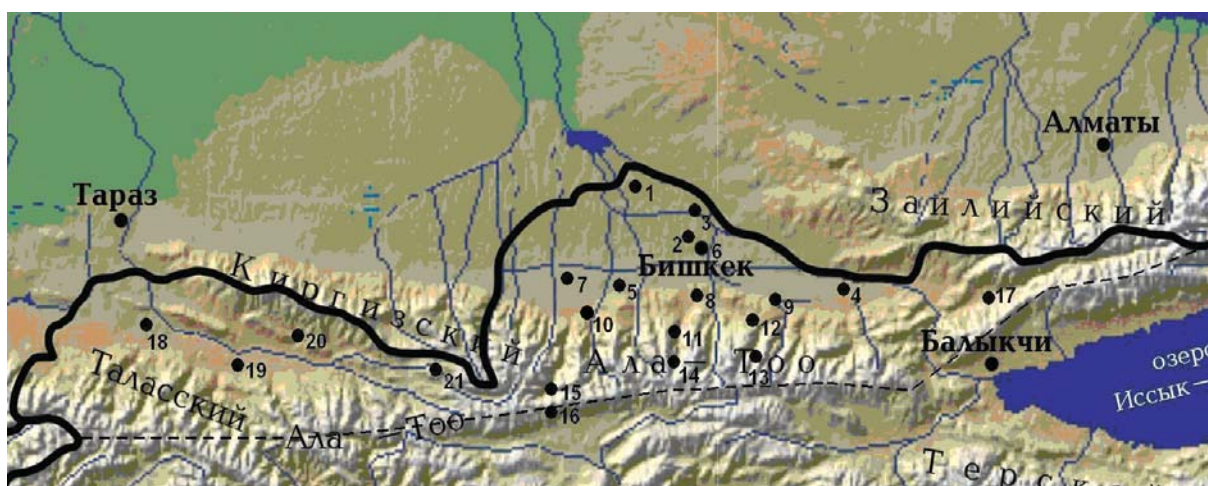


## 2.1. Классификация орографических условий расположений метеорологических станций

На территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана в разное время работало 26 метеорологических станций. В 1990-х гг. началось резкое сокращение наблюдательной сети по экономическим причинам, и с 2003 г. на территории ССЗК функционирует всего 10 станций [63, 90].

В настоящей работе для исследования режима ветра в ССЗК были использованы данные 21 станции, которые работали в разное время. Их положение показано на рис. 2.1, а описание приведено в прил. 1. Станции расположены в различных частях Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долин и окружающих их склонах в диапазоне высот от 0,5 до 3,5 км.

В целях систематизации анализа режима ветра по различным высотным поясам и типам орографических условий использованные 21 метеостанции были объединены в шесть типов, исходя из их местоположения, т.е. метеорологического освещения той или иной зоны каждой из долин или горных обрамлений (табл. 2.1 и прил. 1).



государственная граница Кыргызстана, - - - положение южной границы Северного, Северо-Западного Кыргызстана, ● 1 – номер метеостанции по прил. 1

Рис. 2.1. Карта Северного, Северо-Западного Кыргызстана с расположением использованных метеостанций

Таблица 2.1

Типизация расположения использованной метеорологической сети ССЗК

Описание типа	Число станций и диапазон их высот в различных долинах и на склонах		
	Чуйская	Таласская	Чон-Кеминская
1. Зона оси долин	4 (0,6–0,8 км)	2 (0,9–1,2 км)	1 (1,5 км)
2. Зона подгорных равнин (от зоны оси до подножий)	4 (0,7–0,8 км)	1 (1,2 км)	нет
3. Зона подножий обрамляющих хребтов	2 (1,0–1,1 км)	нет	нет
4. Зона нижней части склонов хребтов	3 (1,2–1,8 км)	нет	нет
5. Зона средней части склонов хребтов	нет	1 (2,1 км)	нет
6. Зона верхней части склонов хребтов (выше 2,5 км)	3 (2,9–3,2 км)	нет	нет



Приведенные в табл. 2.1 шесть типов описывают следующие зоны долин и их горных обрамлений (табл. 2.1): тип 1 – осевые зоны долин (с высотами 0,6–1,5 км, 7 МС); тип 2 – подгорные равнины от осевых зон до подножий обрамляющих их хребтов (от 0,7 до 1,2 км, 5 МС); тип 3 – зоны подножий хребтов с характерными высотами около 1 км (2 МС); тип 4 – нижние зоны склонов (от 1,2 до 1,8 км, 3 МС); тип 5 – средние зоны склонов (от 1,8 до 2,5 км, 1 МС); тип 6 – верхние зоны склонов, выше 2,5 км (3 МС).

Станции типа 1 и 2 размещались на окраинах населенных пунктов типичной сельскохозяйственно обжитой территории, с одноэтажными постройками, садами и полями. Станции типа 3 располагались аналогично типам 1 и 2, но в зоне подножий хребтов, обычно в областях выхода узких склонов долин в наклонные подгорные равнины. Станции типа 4, 5 и 6 (склоновые станции) находились в орографически защищенных тальвегах меридиональных или широтных узких долин или микрокотловин северного и южного склона Киргизского Ала-Тоо. Под орографически защищенными условиями станций на склонах хребтов понималась их защищенность со всех сторон окружающими складками местности с относительными превышениями не менее 150 м, когда складки (борта долин и ущелий) расположены на удалениях не более 1–3 км. Этот критерий в работе [99] был успешно применен для описания режима сильных ветров в горных районах.

Таким образом, наиболее полно освещена данными Чуйская долина и ее горное обрамление, в которой 16 станций располагались от оси долины и до верхней части склонов (исключение составляет средняя часть северного склона Киргизского Ала-Тоо, где не использовано ни одной станции). В Таласской долине имелись данные 4 МС, которые охватывают ось и подгорную равнину долины, а также среднюю часть южного склона Киргизского Ала-Тоо. К сожалению, в Чон-Кеминской долине была использована для описания режима ветра одна имеющаяся станция, расположенная на оси долины. Совершенно не освещенными прямыми данными остаются открытые основные и боковые водоразделы всех хребтов ССЗК. Это справедливо и для Кыргызстана в целом, что не позволяет использовать аналоговые решения для этого типа орографических условий.

Такая систематизация расположения метеорологической сети позволила системно и в то же время достаточно детально описать приземные ветровые условия территории ССЗК.

## **2.2. Режим средних скоростей ветра в приземном слое**

Целью настоящего пункта является детальное исследование режимов модуля средних скоростей ветра в приземном слое по данным 20 МС (прил. 1) в различных зонах Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долин и окружающих их склонов, включая оценку его изменений в конце XX в.

**Средние годовые и месячные скорости ветра, повторяемость штилей.** В табл. 2.2 приведены средние месячные и годовые модули скорости ветра, в табл. 2.3 – повторяемость штилей по месяцам и за год в целом, а на рис. 2.2 – графики годового хода скорости по данным справочника [110]. В них станции ССЗК представлены согласно типизации их орографических условий (п. 2.1). Из этих данных можно сделать следующие выводы об особенностях режима ветра в различных зонах ССЗК: 1) средние годовые скорости ветра малы (1,5–3,2 м/с), и только на участках пригребневых зон они увеличиваются до 4,3 м/с и более под воздействием ветров свободной атмосферы; 2) годовой ход скорости ветра выражен слабо (в пределах  $\pm 1$  м/с); 3) повторяемость штилей относительно высока и может достигать 20–40%.

Таблица 2.2

Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с) в различных частях ССЗК [110]

Станция (класс закрытости)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
<b>Чуйская долина и ее горное обрамление</b>													
Тип 1. Ось долины													
1. Чуйская (6б)	1,7	2,0	2,4	2,8	2,6	2,3	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,6	2,0
3. Константиновская (8а)	2,0	2,3	2,6	3,4	3,5	3,7	3,5	2,9	2,6	2,1	2,3	2,3	2,8
4. Токмак (6б)	2,1	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	2,0	1,9
Тип 2. Подгорная равнина													
5. Беловодск (6б)	1,3	1,4	1,7	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,5
6. Фрунзе (6б)	1,8	2,1	2,3	2,3	2,2	2,3	2,1	1,9	2,1	2,0	1,9	1,8	2,1
7. Калининское (5в)	1,9	2,0	2,1	2,3	2,1	2,1	2,2	1,9	2,1	1,9	1,9	2,0	2,0
8. Фрунзе АМСГ (7б)	2,4	2,5	2,6	2,8	2,8	2,8	2,7	2,6	2,9	2,8	2,5	2,4	2,6
Тип 3. Подножье северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
9. Юрьевка (5в)	2,1	2,1	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	2,4	2,2	2,0	2,4
10. Чон-Арык (4в)	2,2	2,2	2,1	2,2	2,2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,2	2,1	2,1	2,2
Тип 4. Нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
11. Байтык (4γ)	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,5	2,2	2,2	1,9	2,0	2,2
12. Норус (5в)	2,0	1,9	2,0	2,1	2,2	2,1	2,5	2,4	2,8	2,4	2,0	2,1	2,2
13. Арасан (4γ)	2,1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3	2,2	2,3
Тип 6. Верхняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
14. Ала-Арча (4γ)	3,2	3,4	3,4	3,1	2,7	3,0	3,3	3,1	3,0	3,6	3,5	3,6	3,2
15. Тюя-Ашу сев. (4γ)	5,0	5,6	5,4	4,3	3,2	3,0	3,2	2,8	3,7	4,5	5,2	5,2	4,3
16. Тюя-Ашу южн. (4γ)	1,8	2,0	2,2	2,0	1,8	1,7	1,8	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0
<b>Чон-Кеминская долина</b>													
Тип 1. Ось долины													
17. Новороссийка (5в)	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,1	1,9	2,0	2,0	1,9	1,8	2,0	2,0
<b>Таласская долина</b>													
Тип 1. Ось долины													
18. Кировское (5в)	1,3	1,5	2,0	2,2	2,1	2,3	2,2	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,8
19. Талас (5в)	2,4	2,3	2,2	2,4	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4	2,3	2,0	2,2	2,4
Тип 2. Подгорная равнина													
20. Ленинполь (5в)	2,2	2,3	2,6	3,4	3,2	3,1	2,9	3,2	2,8	2,5	1,9	2,1	2,7
Тип 5. Средняя часть южного склона Киргизского Ала-Тоо													
21. Ак-Таш (4γ)	3,1	2,9	2,8	3,1	3,2	3,2	3,1	3,1	2,9	2,9	2,9	3,1	3,1

Примечание: 1. Номер станции – по прил. 1. 2. В скобках у названия станции дан класс открытости, осредненный по восьми румбам (по классификации В.Ю. Милевского) [110].

Таблица 2.3

Средняя месячная и годовая повторяемость штилей (%) в различных частях ССЗК [110]

Станция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
<b>Чуйская долина и ее горное обрамление</b>													
Тип 1. Ось долины													
1. Чуйская (6б)	35	29	22	14	17	20	21	23	28	32	32	32	26
3. Константиновская (8а)	34	23	22	14	12	11	11	19	23	27	29	33	22
4. Токмак (6б)	27	30	30	27	24	23	25	29	30	31	30	27	28
Тип 2. Подгорная равнина													
5. Беловодск (6б)	34	32	27	26	27	31	31	32	24	26	32	34	30
6. Фрунзе (6б)	25	20	19	19	19	19	21	21	15	16	23	26	20
7. Калининское (5в)	16	14	15	14	16	12	13	14	11	11	18	16	14
8. Фрунзе АМСГ (7б)	26	22	20	18	14	14	15	12	10	12	24	24	18
Тип 3. Подножье северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
9. Юрьевка (5в)	14	16	11	10	10	8	8	9	12	12	14	15	12
10. Чон-Арык (4в)	15	15	15	12	13	14	14	10	7	8	13	13	12
Тип 4. Нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
11. Байтык (4γ)	35	35	35	27	27	25	20	22	27	34	36	36	30
12. Норус (5в)	27	26	29	30	33	37	33	30	22	24	31	26	29
13. Арасан (4γ)	24	19	20	21	19	17	16	16	16	18	23	23	19
Тип 6. Верхняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
14. Ала-Арча (4γ)	16	15	14	19	21	11	10	14	13	12	14	15	14
15. Тюя-Ашу сев. (4γ)	13	16	20	29	36	32	35	36	34	20	15	14	25
16. Тюя-Ашу южн. (4γ)	36	27	27	28	37	39	36	31	34	28	30	28	32
<b>Чон-Кеминская долина</b>													
Тип 1. Ось долины													
17. Новороссийка (5в)	15	11	16	16	19	23	25	27	26	18	19	16	19
<b>Таласская долина</b>													
Тип 1. Ось долины													
18. Кировское (5в)	50	39	28	36	36	34	36	43	49	51	45	48	41
19. Талас (5в)	22	26	25	22	18	15	15	18	24	28	25	25	22
Тип 2. Подгорная равнина													
20. Ленинполь (5в)	5	7	6	6	9	8	8	10	6	7	10	4	7
Тип 5. Средняя часть южного склона Киргизского Ала-Тоо													
21. Ак-Таш (4γ)	18	21	23	19	15	12	12	14	18	18	2	19	16

*Примечание:* 1. Номер станции – по прил. 1. 2. В скобках у названия станции дан класс открытости, осредненный по восьми румбам (по классификации В.Ю. Милевского) [110].

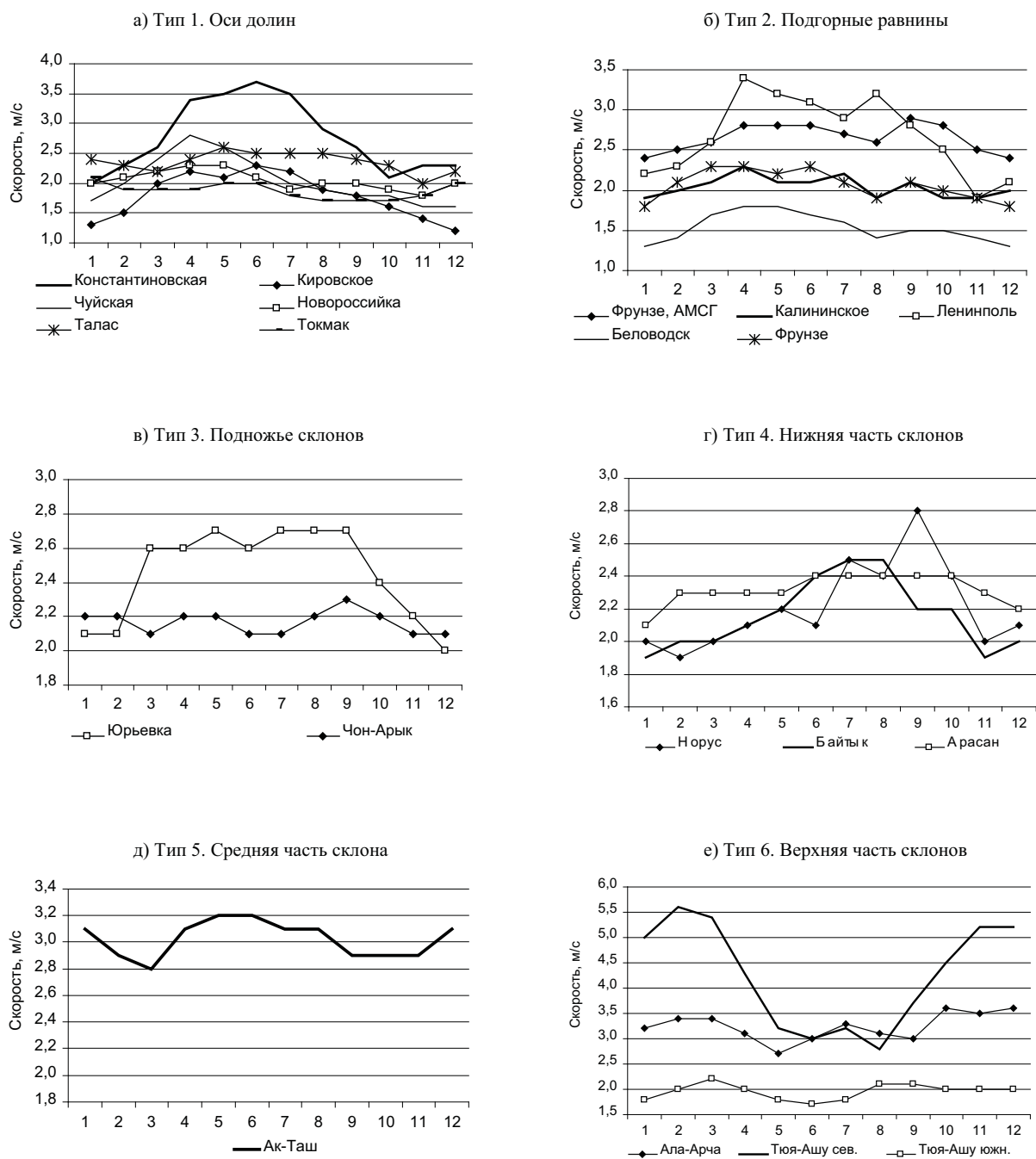


Рис. 2.2. Годовой ход средних месячных скоростей ветра в различных зонах ССЗК

Более детальные особенности режима скоростей и штилей по отдельным долинам сводятся к следующему.

*Чуйская долина и ее горное обрамление.* По данным станций «Чуйская» и «Токмак» (рис. 2.2, а), расположенных на оси долины (первая – в нижней, а вторая – в верхней части), среднегодовые скорости ветра на них одинаковы и составляют 1,9–2,0 м/с, при этом максимальные скорости наблюдаются весной (2,0–2,8 м/с), а минимальные – осенью (1,6–1,7 м/с).

МС «Константиновская», имея класс открытости 8а (метеоплощадка располагалась на небольшом холме – развалинах старой крепости, ветроизмерительный прибор не имел никаких элементов защищенности), характеризуется средней годовой и месячными скоростями примерно на 1 м/с выше, чем по станциям «Токмак» и «Чуйская», повторяя качественно их годовой ход (рис. 2.2, а).

Повторяемость штилей в среднем за год здесь составляет 22–28% (табл. 2.3), максимум приходится на осенне-зимний период (30–35%), а минимум – на весенне-летний период года (11–14%).

В подгорной равнине (на удалении до 10–20 м от подножий) уровень средних годовых и месячных скоростей остается примерно таким же (1,5–2,2 м/с), как на оси долины, но имеет место более ровный годовой ход (рис. 2.2, б). Повышенные скорости на МС «Фрунзе АМСГ» (класс открытости 7б) объясняются ее более открытым положением в зоне бывшего аэропорта. Характерно, что она имеет среднюю годовую скорость 2,6 м/с, практически такую же, как и МС «Константиновская» (2,8 м/с). Это свидетельствует о том, что на открытых местах оси и подгорной равнины Чуйской долины скорость ветра примерно на 1 м/с выше, чем в областях застроек. В процентном отношении прирост скорости будет существенным и составит 30–50%.

На подгорной равнине в году регистрируется несколько меньше штилей, чем на оси долины – 14–20%, исключение – МС «Беловодск» (30%). В годовом ходе наибольшее их значение приходится на зиму (18–34%), а минимум фиксируется осенью, в сентябре (10–24%).

В зоне подножий в Чуйской долине на двух станциях – «Юрьевка» и «Чон-Арык», расположенных в устьях узких меридиональных склоновых долин (ущелий), фиксируют одинаковые среднегодовые скорости 2,2–2,4 м/с. При этом годовой ход на МС «Юрьевка» заметно выражен (рис. 2.2, в) – с широким максимумом, охватывающим весну, лето и начало осени (2,6–2,7 м/с) и минимумом зимой (около 2 м/с). Напротив, годовой ход скорости на МС «Чон-Арык» проявляется очень слабо. Это, несомненно, свидетельствует о различии особенностей влияния их топографии на развитие горно-долинной циркуляции и формирование режима ветра в целом. Повторяемость штилей здесь относительно мала – 12% в году, их годовой ход выражен слабо и находится в пределах  $\pm 4\%$ .

Эти же особенности скорости ветра характерны для нижней части склона Киргизского Ала-Тоо (рис. 2.2, г), когда на общем фоне малых средних годовых скоростей (2,2–2,3 м/с) их максимальные значения (до 2,5–2,8 м/с) соответствуют теплему периоду года при максимальном развитии горно-долинной циркуляции и грозовой деятельности. Повторяемость штилей выше, чем на оси долины, и составляет 19–30%, зимой она может достигать 24–36%, а осенью – опускаться до 16%.

Среднюю часть склонов может охарактеризовать МС «АК-Таш» (средняя годовая скорость – 3,1 м/с (рис. 2.2, д), повторяемость штилей – 16%), расположенная в широтной долине южного склона Киргизского Ала-Тоо.

В верхней части склона (рис. 2.2, е), где развитие горно-долинной циркуляции уже ослаблено (это верхняя зона ее возможного возникновения) [35], годовой ход скорости



достаточно ровный (МС «Ала-Арча» и «Тюя-Ашу южн.»), не превышает  $\pm 0,5$  м/с от средних годовых значений в 2,0–3,2 м/с. Однако если станция близка к гребню и находится под воздействием ветров свободной атмосферы, то ее средние годовые скорости значительно выше (например, как на «Тюя-Ашу сев.» – 4,3 м/с) и на графике годового хода возникает четко выраженный летний минимум, когда средние месячные скорости малы (примерно 3 м/с), и такой же четко выраженный зимний максимум, когда они увеличиваются до 5–6 м/с, т.е. примерно в два раза. Ясно, что такой годовой ход скорости полностью обусловлен годовым ходом ветра в средней тропосфере на высотах 4–6 км. Очень важно отметить, что по выявленному характеру годового хода можно также надежно судить о том, находится станция или нет под воздействием ветров свободной атмосферы. При этом зона усиления ветра на северных склонах спускается ниже гребня примерно на 500 м, тогда как на южных – всего на 100–200 м.

На пригребневых МС «Тюя-Ашу сев.» и «Тюя-Ашу южн.» повторяемость штилей относительно велика – 25–32% в году, на расположенной несколько ниже МС «Ала-Арча» их примерно в два раза меньше – 14%. В годовом ходе штилей наибольшие значения приходятся на конец весны и лето (21–39%), а минимум фиксируется зимой – до 20% (МС «Тюя-Ашу сев.» и «Тюя-Ашу южн.») или летом – 10% (МС «Ала-Арча»).

*Чон-Кеминская долина и ее горное обрамление.* Чон-Кеминская долина по размерам значительно меньше Чуйской [8] и окружена со всех сторон высокими хребтами, имея топографию закрытой котловины. Поэтому в ней можно было бы ожидать более низких скоростей ветра. Однако средние годовые скорости (2,0 м/с) и средние месячные (1,8–2,3 м/с) такие, как в аналогичных условиях местной защищенности в Чуйской долине. В годовом ходе (рис. 2.2, а) максимум скорости наблюдается весной, а минимум – летом и осенью, т.е. он несколько отличен от хода в осевой зоне Чуйской долины. Это, видимо, можно объяснить особенностями развития здесь ГДЦ.

Повторяемость штилей составляет 19%, а годовой ход противоположен ходу в Чуйской долине: максимум наблюдается летом (27%), а минимум – зимой (11%).

Следует ожидать, что в склоновой части имеет место режим ветра, аналогичный для горного обрамления Чуйской долины.

*Таласская долина и ее горное обрамление.* По данным станций Кировское (5в) и Талас (5в), расположенных на оси долины (первая в западной, а вторая в центральной части), среднегодовые скорости ветра на них малы и составляют 1,8–2,4 м/с, т.е. такие же или примерно на 0,5 м/с выше, чем в Чуйской долине. При этом максимальные скорости наблюдаются в весенне-летний период (2,3–2,6 м/с), а минимальные – осенью и зимой (1,6–2 м/с). Годовой ход скорости (рис. 2.2, а) аналогичен ходу на оси Чуйской долины. Повторяемость штилей здесь относительно высока – 22–41% в году, по месяцам года это значение может меняться от 15 до 50%.

На подгорной равнине (на МС «Ленинполь») средняя годовая скорость ветра равна 2,7 м/с, т.е. примерно на 0,5–1 м/с выше, чем в предгорьях, хотя годовой ход (рис. 2.2, б) аналогичен ходу на подгорной равнине. При этом повторяемость штилей низка, в году их фиксируется только 7%, по месяцам эта цифра может изменяться менее чем на  $\pm 3\%$ .

На МС «Ак-Таш», расположенной в верховьях Таласской долины в нижней части ущелья р. Каракол (тип 5 – средняя часть склона), средняя годовая скорость составляет 3,1 м/с. При этом скорости мало изменяются в течение года, менее чем на  $\pm 0,3$  м/с (рис. 2.2, д). В году здесь фиксируется в среднем 16% штилей, наибольшее их значение приходится на весну (23%), а наименьшее – на лето (12%). По-видимому, эта широтная долина является областью устойчивых повышенных скоростей по сравнению с Таласской долиной в целом.

Таким образом, режим средних скоростей в трех долинах ССЗК и их горных обрамлениях практически одинаков, характеризуется малыми скоростями (1,8–3,1 м/с в году) и слабо выраженным годовым ходом, с максимумом весной-летом и минимумом зимой. Исключение составляет гребневая зона хребтов, где средние скорости могут увеличиваться до 4–6 м/с и имеют обратный, свойственный ветрам свободной атмосферы, годовой ход: максимум – зимой и минимум – летом.

Повторяемость штилей относительно высока (20–40% в году), в Чуйской и Таласской долинах в годовом ходе наибольшее их значение приходится на теплую половину года, а наименьшее – на холодную. Противоположный годовой ход штилей наблюдается в Чон-Кеминской долине, а также в верхней части склонов Киргизского Ала-Тоо.

**Скорости ветра в различные часы суток.** Скорости ветра по 4 срокам (1, 7, 13 и 19 ч) и 12 месяцам года [110] по всем метеостанциям показаны в прил. 2, по данным которого построены гистограммы рис. 2.3, где приведены данные только 6 МС, представляющих все зоны. На гистограммах хорошо видны как особенности годового хода скорости, на которых останавливаться не будем, т.к. они рассмотрены выше, так и суточный ход. Проанализируем, насколько это возможно по 4-срочным данным, суточный ход по сезонам: зима (январь), весна (апрель), лето (июль) и осень (октябрь).

*Чуйская долина и ее горное обрамление.* На оси долины зимой суточный ход скорости очень ровный (рис. 2.3, а, прил. 2), скорости ветра почти не меняются по срокам: МС «Чуйская» – 1,5–1,8 м/с; МС «Константиновская» – 1,9–2,2 м/с. Весной в 13 и 19 ч скорости ветра на этих станциях увеличиваются до 3,6 и 3,9 м/с, тогда как утренние и ночные не превосходят 2,6 и 3,2 м/с. В июле скорости по срокам снова выравниваются («Чуйская» 1,9–2,3 м/с; «Константиновская» – 3,3–3,8 м/с), а в октябре опять становится заметным преобладание дневных скоростей. В целом на оси долины суточный ход очень мал.

В подгорной равнине (МС «Фрунзе») годовой ход скоростей ветра в различное время суток практически совпадает с ходом скоростей на оси долины, и основной чертой также является его слабая выраженность (рис. 2.3, б, прил. 2), когда колебания по срокам находятся в пределах  $\pm 0,5$ –1 м/с. Можно отметить некоторые снижения скоростей в 7 и 19 ч, что, видимо, связано с частыми затишьями в это время, в связи со сменой горного ветра на долинный (утром) и наоборот (вечером).

В зоне подножья (МС «Чон-Арык») зимой скорости ветра ночью (1 ч), утром (7 ч) и вечером (19 ч) находятся примерно на одном уровне – 2,4–2,8 м/с (рис. 2.3, в, прил. 2). Дневные скорости в два раза меньше – 1,3 м/с, что свидетельствует о преобладании горной составляющей склоновой горно-долинной циркуляции. Весной и летом имеет место снижение скоростей в 7 ч до 1,1–1,8 м/с по сравнению со скоростями в 1, 13 и 19 ч (2,1–2,7 м/с). Это связано со сменой горного ветра на долинный (утром) и наоборот (вечером). Осенью суточный ход скорости ветра практически не выражен, когда она находится в пределах 2,1–2,3 м/с.

В нижней части склона (МС «Байтык» и «Арасан») суточный ход зимой аналогичен ходу скорости в области подножья (рис. 2.3, г, прил. 2). Так, на МС «Байтык» и «Арасан» ночью, утром и вечером скорости находятся в пределах 2,1–2,4 м/с, а днем соответственно равны 1,0–1,3 м/с. Весной и летом наблюдается преобладание дневных (13 ч) скоростей ветра до 1,9 м/с над скоростями, находящимися примерно на одном уровне значений (2,0–2,7 м/с) в 1, 7 и 19 ч. Исключение составляет МС «Байтык», где в летний период года доминируют ночные скорости ветра (до 0,5 м/с). Осенью на всех станциях нижней части склона суточный ход скорости сглажен, с небольшим (на 0,5–1 м/с) понижением вечерних скоростей ветра.

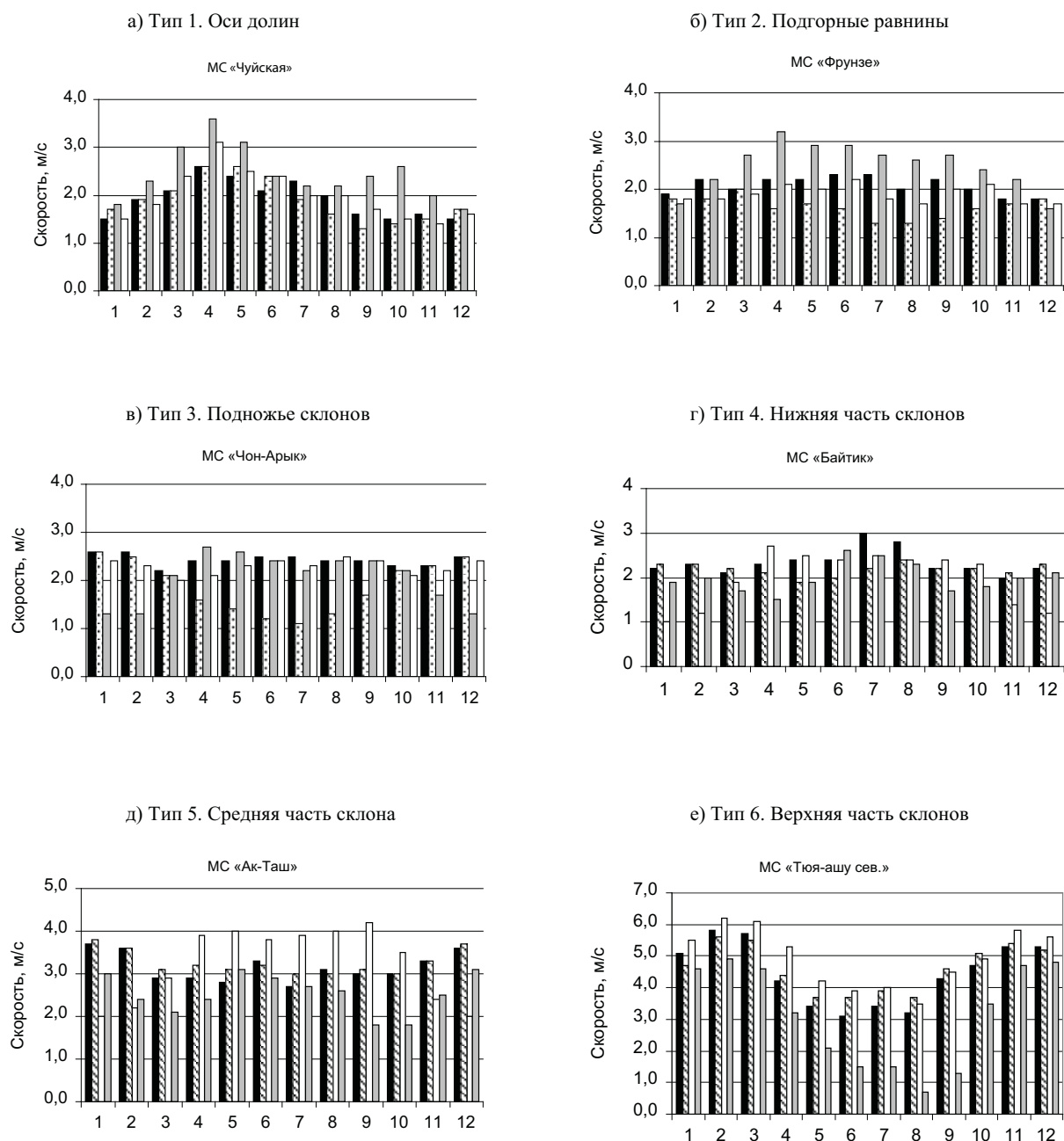


Рис. 2.3. Гистограммы средних месячных скоростей ветра (м/с) в различные часы суток в различных зонах ССЗК

( ■ 1 ч ▨ 7 ч □ 13 ч ▩ 19 ч )

На станции МС «Тюя-Ашу сев.», расположенной в верхней части склона (рис. 2.3, е, прил. 2) суточный ход выражен слабо во все периоды года, кроме периода с мая по сентябрь, когда наблюдается резкое уменьшение скорости вечером на 2,5 м/с по сравнению с относительно одинаковыми скоростями в 1, 7 и 13 ч, которые находятся в пределах 3–4,5 м/с.

*Чон-Кеминская долина и ее горное обрамление.* В Чон-Кеминской долине суточный ход зимой выражен слабо, но в теплый период года хорошо заметно преобладание дневных скоростей, когда они увеличиваются до 3,9–4,2 м/с, т.е. в два раза и более по сравнению с 1,0–1,6 м/с в утренние и ночные сроки (см. прил. 2).

*Таласская долина и ее горное обрамление.* В Таласской долине суточный ход скорости в теплый период года явно выражен (прил. 2): дневные скорости здесь явно преобладают («Кировское» – до 4,2 м/с) над утренними и ночными (до 2–2,5 м/с). В то же время зимой этого нет, и скорости ветра в разные сроки различаются мало, что можно объяснить наличием в течение всех суток гравитационного стока. Таким образом, налицо идентичность суточного хода скорости в Таласской и Чон-Кеминской долинах.

На ущельевой МС «Ак-Таш» (рис. 2.3, д, прил. 2), расположенной в средней части склона, в теплый период года дневные скорости также заметно выше ночных (примерно на 1 м/с). Зимой скорости составляют 3–3,8 м/с в 1, 7 и 19 ч, 2 м/с – в 13 ч. Весной, летом и осенью наблюдается преобладание дневных (13 ч) скоростей ветра до 1,9 м/с над скоростями, находящимися примерно на одном уровне (2,0 – 2,7 м/с) в 1, 7 и 19 ч.

Таким образом, суточный ход модуля скорости во всех зонах ССЗК выражен относительно слабо. В Таласской и Чон-Кеминской долинах в теплый период года дневные скорости превышают ночные на 1–2 м/с. В склоновых долинах наблюдается противоположный суточный ход – ночные скорости превалируют над дневными. В верхней их части суточный ход также выражен слабо.

К сожалению, выявленные закономерности режима средних скоростей ветра нельзя с полной уверенностью перенести на оротографически незащищенные участки склонов, т.е. водоразделы различных порядков, где нет прямых данных метеостанций. Можно только предполагать, что, скорее всего, уровень средних скоростей существенно не повысится, будет отмечаться только их слабый рост с высотой вплоть до гребневой зоны, чего нет в тальвегах склоновых долин. С выходом из тальвегов верхних частей долин на основные гребни хребтов будет происходить резкое увеличение скорости до 4–6 м/с. Однако точные количественные данные можно получить только при постановке экспедиционных анемосъемок или создания дополнительной сети станций.

**Соотношение скоростей в различных зонах ССЗК.** На рис. 2.4 показано распределение средних годовых скоростей ветра в различных зонах ССЗК, представленное с учетом высоты станций.

Видно, что скорости в трех долинах ССЗК и их горных обрамлениях (типы 1–5), если станции расположены в оротографически защищенных участках склонов, т.е. в тальвегах узких склоновых долин и микрокотловин, в целом практически одинаковы. Они малы (около 1,5–3,0 м/с), а разброс скоростей составляет всего 1,5 м/с. Исключение представляют участки пригребневых зон (тип 6), которые захватываются усилениями ветра, наблюдаемыми в средней тропосфере над горами (скорости более 4 м/с). За счет правого поворота ветра в слое трения над горами эти потоки на уровнях, близких к средней высоте гребней хребтов ССЗК (3,5–4 км), приобретают южные и близкие к ним направления. На пригребневых участках южных наветренных склонов широтных хребтов потоки тормозятся, не приводя здесь к увеличению скоростей, кроме непосредственно гребневых участков и прилегающей к ним узкой примерно 100–200-метровой зоны по высоте. На подветренных северных склонах потоки могут опускаться и усиление ветра распростра-

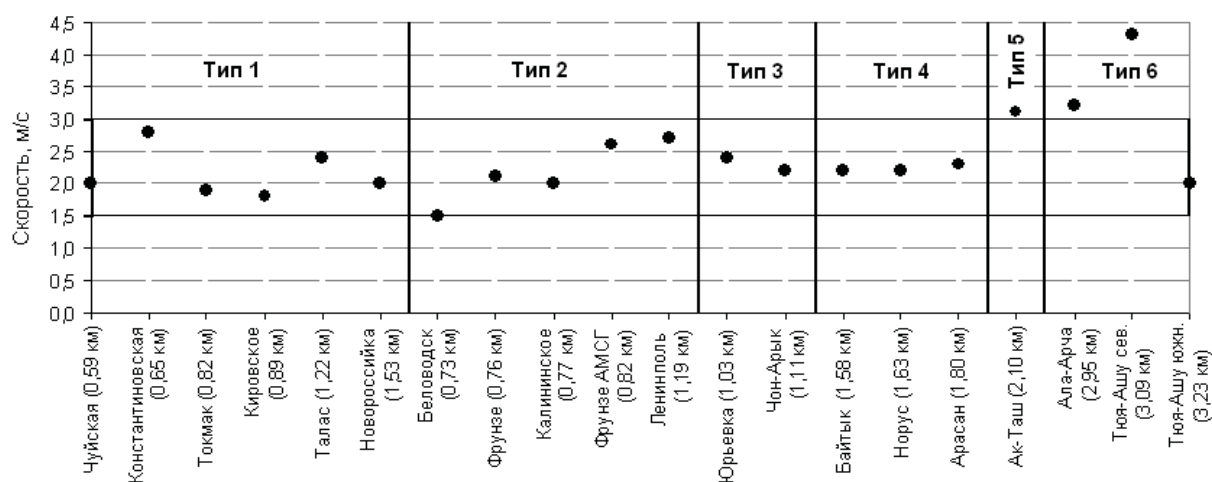


Рис. 2.4. Распределение средних годовых скоростей ветра в различных зонах ССЗК

няется вниз на 500–700 м, захватывая верхние участки узких склоновых долин и вызывая в них повышенные скорости в холодный период года, что приводит также к усилению средних годовых скоростей ветра. Примером может служить МС «Тюя-Ашу сев.» (3,09 км), расположенная на северном подветренном склоне в тальвеге верхней части узкой долины р. Карабалта. Усиление южных ветров в свободной атмосфере в холодный период года «генерирует» здесь у земли ветры повышенной скорости (средняя годовая скорость – 4,3 м/с). Заметим, что ни одна из станций Кыргызстана [79, 98], кроме МС «Рыбачье» (4,7 м/с), расположенной в зоне местного штормового ветра улан, не дает таких и более высоких средних годовых скоростей, в том числе и перевальная станция «Долон» (4,1 м/с,  $Z=3,03$  км). Это подтверждается данными «Тюя-Ашу южн.» (3,23 км), расположенной симметрично с «Тюя-Ашу сев.» (3,09 км) и несколько выше ее, но на южном наветренном склоне Киргизского хребта (обе станции открывались как снеголавинные для обслуживания южного и северного портала горного туннеля на автодороге Фрунзе – Ош). Средняя годовая скорость ветра здесь всего 2,2 м/с, т.е. значительно ниже, чем на высокогорной МС «Ала-Арча» (3,2 м/с,  $Z = 2,95$  км) и даже среднегорной МС «Ак-Таш» (3,1 м/с,  $Z = 2,10$  км), расположенных в тальвегах узких склоновых долин. В работе [97], применительно к режиму сильных ветров, это было обосновано достаточно обширным материалом и специально проведенными шаропилотными наблюдениями за ветром в свободной атмосфере.

Для статистической оценки степени зависимости скорости ветра от высоты места по данным 20 станций (табл. 2.3) были рассчитаны коэффициенты корреляции  $r$  и соответствующие им уравнения регрессий между средней скоростью и высотой для центральных месяцев сезонов года (январь, апрель, июль и октябрь), которые приведены в табл. 2.4. На графиках рис. 2.5 показаны корреляционные поля опытных точек и прямые регрессий.

Таблица 2.4

Значения коэффициентов корреляции скорости ветра  
с высотой и уравнения высотных регрессий

Сезон (месяц)	Коэффициент корреляции, $r$	Значимость $r$ ( $p = 0,95$ )	Уравнение высотной регрессии, $Z$ , км
Год	0,57	Значим	$V = 0,4287Z + 1,7749 \pm 0,5222$
Зима (январь)	0,63	Значим	$V = 0,6145 Z + 1,3505 \pm 0,6374$
Весна (апрель)	0,32	Не значим	$*V = 0,2445 Z + 2,2221 \pm 0,6084$
Лето (июль)	0,30	Не значим	$*V = 0,1971 Z + 2,1695 \pm 0,5314$
Осень (октябрь)	0,67	Значим	$V = 0,5740 Z + 1,5182 \pm 0,5369$



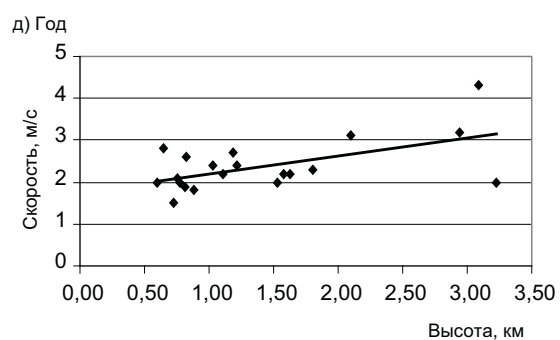
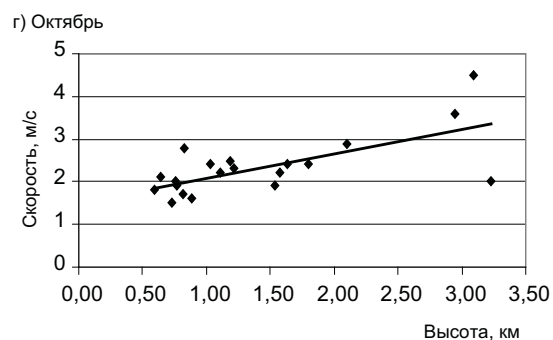
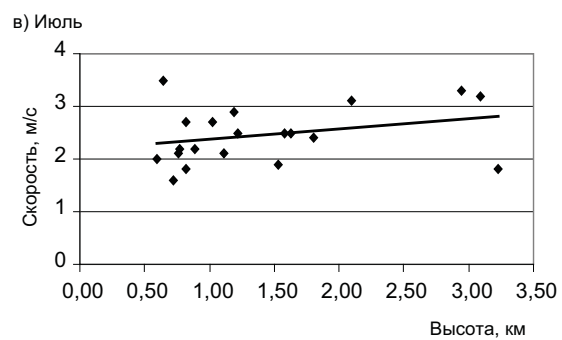
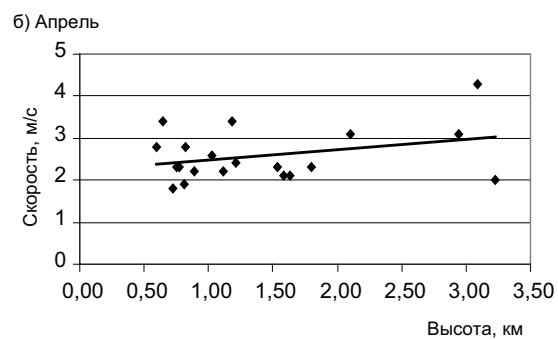
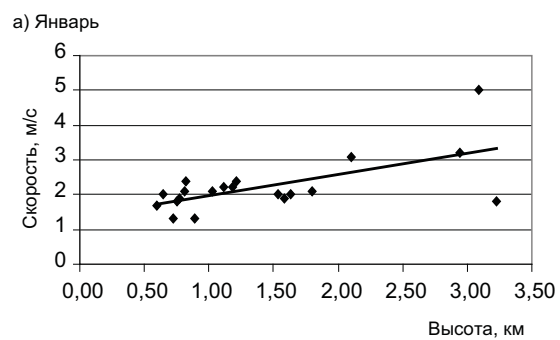


Рис. 2.5. Эмпирические поля точек и рассчитанные линии регрессии средних скоростей ветра по сезонам года и для года в целом

Из приведенных данных следует, что корреляция и регрессия оказались значительными на уровне доверительной вероятности  $p = 0,95$  только для года в целом ( $r = 0,57$ ), зимы ( $r = 0,63$ ) и осени ( $r = 0,67$ ). Весной и летом корреляция слаба ( $r = 0,30-0,32$ ) и статистически не значима. Основной особенностью для всех сезонов является очень слабое возрастание скорости ветра с высотой места с вертикальными градиентами: год –  $0,43$  м/с·км, сезоны –  $0,20-0,62$  м/с·км. В результате от 1 км (пожножье) к 3 км расчетные скорости по регрессиям табл. 2.4 увеличиваются всего на  $0,9$  м/с в году и на  $0,4-1,2$  м/с – по сезонам.

Если же из расчетов исключить МС «Тюя-Ашу сев.» (которая находится, как уже отмечалось, под прямым воздействием ветров свободной атмосферы), то корреляция во всех случаях уменьшается до  $r = 0,40$  и менее.

Таким образом, для орографически защищенных форм рельефа можно говорить о практическом постоянстве скорости ветра с высотой места весной и летом, возможном очень слабом ее росте в году, зимой и осенью – не более чем на  $0,5-1$  м/с от подножий хребтов к их пригребневой зоне ( $3-3,5$  км). И только в гребневой зоне, когда возникает прямое влияние ветров свободной атмосферы, средние скорости увеличиваются до  $4-5$  м/с и более.

Для подтверждения выводов о независимости скоростей ветра от высоты и местоположения, но уже в пределах высот подгорной равнины Чуйской долины, нами также проведены специальные расчеты с целью оценки корреляционно-регрессионной связи между максимальными скоростями ( $V_{\text{макс}}$ ) на МС «Бишкек» (подгорная равнина) и АМЦ «Манас» (осевая часть долины). Для этого были сделаны выборки суточных наблюдений максимальных мгновенных скоростей ветра, т.е. 3–4-секундного осреднения за 1991 г. на этих станциях, по которым рассчитаны основные статистики распределений скоростей [33, 108]: среднее значение –  $\bar{V}$ , среднее квадратическое отклонение –  $\sigma(V)$ ; коэффициенты вариации –  $C(V)$ , асимметрии –  $A(V)$  и эксцесса –  $E(V)$ , их стандартные (средние квадратические) ошибки –  $CT$  (табл. 2.5), а также параметры корреляции и регрессии (табл. 2.6).

Таблица 2.5

Статистики эмпирических распределений максимальных за сутки скоростей 4-секундного осреднения по данным наблюдений на МС «Бишкек» и в АМЦ «Манас» за 1991 г.

Статистики	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
МС «Бишкек»					
Объем выборки	90 дней	92 дня	92 дня	91 день	365 дней
$\bar{V} \pm CT$ , м/с	$5,39 \pm 0,22$	$6,96 \pm 0,23$	$8,22 \pm 0,32$	$6,36 \pm 0,20$	$6,74 \pm 0,13$
$\Sigma(V) \pm CT$ , м/с	$2,08 \pm 0,16$	$2,20 \pm 0,16$	$3,05 \pm 0,23$	$1,92 \pm 0,14$	$2,57 \pm 0,10$
$C(V) \pm CT$	$0,39 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,02$	$0,37 \pm 0,03$	$0,30 \pm 0,02$	$0,38 \pm 0,02$
$A(V) \pm CT$	$1,47 \pm 0,26$	$1,69 \pm 0,26$	$1,40 \pm 0,26$	$1,57 \pm 0,26$	$1,56 \pm 0,13$
$E(V) \pm CT$	$2,58 \pm 0,52$	$3,26 \pm 0,51$	$0,83 \pm 0,51$	$2,94 \pm 0,51$	$2,73 \pm 0,26$
АМЦ «Манас»					
Объем выборки	85 дней	92 дня	92 дня	91 день	360 дней
$\bar{V} \pm CT$ , м/с	$5,59 \pm 0,20$	$6,86 \pm 0,23$	$7,63 \pm 0,28$	$5,54 \pm 0,21$	$6,42 \pm 0,13$
$\Sigma(V) \pm CT$ , м/с	$1,87 \pm 0,14$	$2,16 \pm 0,16$	$2,69 \pm 0,20$	$1,97 \pm 0,15$	$2,37 \pm 0,09$
$C(V) \pm CT$	$0,34 \pm 0,03$	$0,31 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,03$	$0,36 \pm 0,03$	$0,37 \pm 0,01$
$A(V) \pm CT$	$0,59 \pm 0,27$	$0,83 \pm 0,26$	$1,23 \pm 0,26$	$1,29 \pm 0,26$	$1,14 \pm 0,13$
$E(V) \pm CT$	$-0,15 \pm 0,53$	$0,92 \pm 0,51$	$0,87 \pm 0,51$	$1,56 \pm 0,51$	$1,57 \pm 0,26$

Как видно из табл. 2.5, для года в районе аэропорта «Манас» полученное среднее значение  $V_{\text{макс}}$  равно  $\bar{V} = 6,42$  м/с. Это на 0,3 м/с ниже, чем для Бишкека ( $\bar{V} = 6,74$  м/с). Их отношения во все сезоны близки к единице и равны:

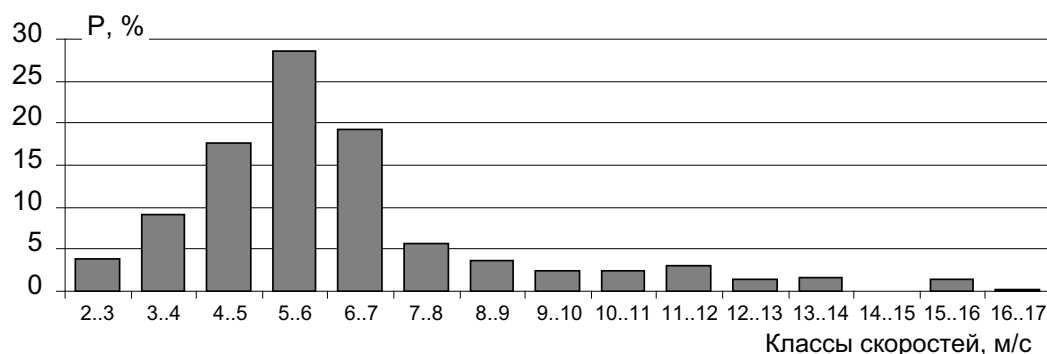
Сезон:	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
$V_{\text{макс}} (\text{Манас}) / V_{\text{макс}} (\text{Бишкек})$ :	1,04	0,99	0,93	0,87	0,95

Значения  $V_{\text{макс}}$  наиболее высоки летом и равны 7,63 и 8,22 м/с для АМЦ «Манас» и МС «Бишкек» соответственно, а наиболее низки – в осенне-зимний период года: АМЦ «Манас» – 5,54 и 5,59 м/с, МС «Бишкек» – 5,39 и 6,36 м/с, т.е. имеет место совпадение сезонного хода максимальных суточных скоростей ветра в подгорной и осевой частях долины.

Среднее квадратическое отклонение на подгорной равнине составляет в году 2,57 м/с, по сезонам оно изменяется от 1,92 до 3,05 м/с.  $\sigma(V)$  для осевой части долины практически такое же: год  $\sigma(V) = 2,37$  м/с, сезоны  $\sigma(V) = 1,87$  (зима)..., 2,69 м/с (лето). Относительная изменчивость скоростей в этих зонах долины также практически одинакова: год  $C(V) = 0,37\text{--}0,38$ , по сезонам  $C(V) = 0,30\text{--}0,39$ .

Статистические распределения модуля скорости (табл. 2.5, рис. 2.6) на МС «Бишкек» и АМЦ «Манас» для года и во все сезоны очень схожи: они сильно правоасимметричны ( $A(V) > 0,59\text{--}1,69$ ) и островершинны ( $E(V) > 0,83\text{--}2,94$ ). Следует отметить, что для обоих пунктов асимметрия в целом оценена достаточно надежно (ошибка менее  $\pm 0,26$ ), эксцесс надежно оценен только для года, в остальные периоды годы ошибка может достигать  $\pm 0,53$ .

а) МС «Бишкек»



б) АМЦ «Манас»

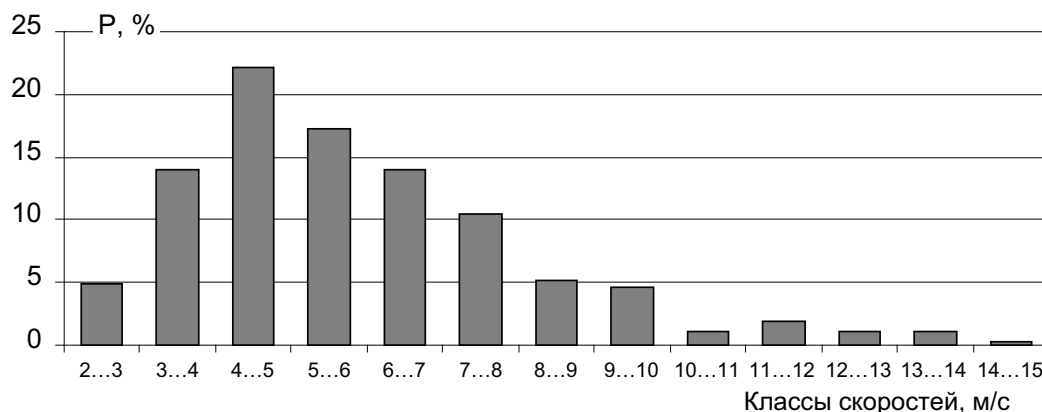


Рис. 2.6. Гистограммы распределений максимальных за сутки скоростей 3–4-секундного осреднения по данным МС «Бишкек» и АМЦ «Манас»

В табл. 2.6 приведены параметры парной линейной регрессии и корреляции для сезонов и года по данным выборок  $V_{\text{макс}}$  на МС «Бишкек» и АМЦ «Манас».

Таблица 2.6

Параметры регрессии и корреляции между суточными максимумами мгновенных скоростей ветра на АМЦ «Манас» ( $y$ ) и МС «Бишкек» ( $x$ )

Год, сезон	$n$	$b_0 \pm S_{b_0}$ , м/с	$b_1 \pm S_{b_1}$ , м/с·км	$S_p$ , м/с	$r \pm S_r$	F-критерий		Значимость регрессии
						$F_{\text{эмп}}$	$F_{\text{крит}}$	
Год	360	2,10±0,26	0,64±0,04	1,73	0,69±0,03	322,34	3,87	значима
Зима	85	2,33±0,46	0,61±0,08	1,47	0,63±0,07	55,80	3,96	значима
Весна	92	3,09±0,63	0,54±0,09	1,82	0,55±0,07	39,22	3,95	значима
Лето	92	2,19±0,54	0,66±0,06	1,80	0,75±0,05	116,15	3,95	значима
Осень	91	1,85±0,60	0,58±0,09	1,65	0,56±0,07	41,67	3,95	значима

Обозначения:  $b_0$  и  $b_1$  – остаточный член и угловой коэффициенты регрессии,  $S_{b_0}$  и  $S_{b_1}$  их стандартные ошибки;  $S_p$  – стандартная ошибка уравнения регрессии;  $r$  – коэффициент линейной корреляции,  $S_r$  – его ошибка; F-критерий – отношение Фишера;  $n$  – объем выборки.

Как видно из табл. 2.6, коэффициент корреляции между суточными  $V_{\text{макс}}$  для года оказался равным 0,69, а для сезонов принимает значения от 0,55 (весна и осень) до 0,63 и 0,75 (зима и лето). Во всех случаях он статистически значим ( $p = 0,95$ ). Коэффициенты детерминации ( $D = r^2$ ) соответственно равны:

Сезон:	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
$D$ :	0,40	0,30	0,56	0,31	0,48

Численно  $D$  характеризует долю детерминированной части дисперсии (объясняемой регрессии) в общей дисперсии выборки. Следовательно, степень коррелированности скоростей оказалась умеренной, хотя пункты располагались на расстоянии около 30 км.

Угловые коэффициенты регрессии  $b_1$  в году и по сезонам меняются в пределах 0,54–0,66 м/с·км и статистически значимы на уровне доверительной вероятности 0,95 (по F-критерию Фишера). Так, для года регрессия имеет вид:

$$V_{\text{макс}}(\text{Манас}) = 0,64 \cdot V_{\text{макс}}(\text{Бишкек}) + 2,1 \pm 1,7, \quad (2.1)$$

где  $\pm 1,7$  м/с средняя квадратическая ошибка регрессии.

На рис. 2.7 показано эмпирическое поле точек, соответствующее (2.1) нанесенной линии регрессии.

Если задать  $V_{\text{макс}}(\text{Бишкек})$ , равным 1..., 10 м/с, то для  $V_{\text{макс}}(\text{Манас})$  получим:

$V_{\text{макс}}(\text{Бишкек})$ :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{макс}}(\text{Манас}) \pm 1,7$ :	2,74	3,38	4,02	4,66	5,3	5,94	6,58	7,22	7,86	8,5

Как видно, в среднем для года в диапазоне до 10 м/с имеет место практическое равенство скоростей в двух зонах (с точностью до ошибки регрессии  $\pm 1,7$  м/с) – подгорной равнине и осевой части Чуйской долины. Аналогичная картина имеет место и во все четыре сезона. Этот вывод важен в том отношении, что степень развития горно-долинной циркуляции в разных зонах различна, но это, как оказалось, не оказывает заметного влияния на уровень модуля скоростей ветра.

**Оценка изменения скорости ветра в конце XX в. в ССЗК.** Анализ изменений скорости ветра в конце XX в. для ССЗК, насколько нам известно, до сих пор не проводился. Такой анализ сделан для двух основных зон ССЗК – подгорной равнины Чуйской долины (МС «Бишкек») и нижней части северного склона Киргизского Ала-Тоо (МС

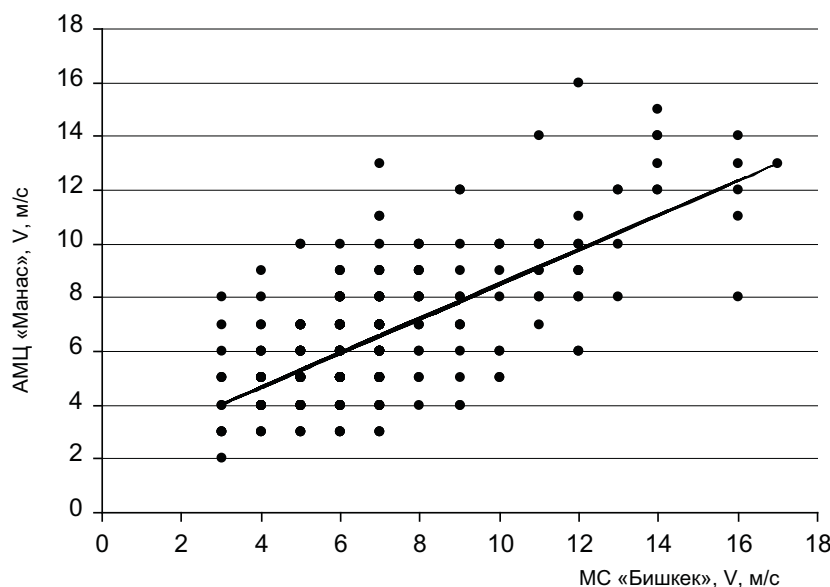


Рис. 2.7. Эмпирическое поле точек скоростей ветра на МС «Бишкек» и АМЦ «Манас» и рассчитанная линия регрессии

«Байтык»). В качестве исходного материала использовались данные многолетних наблюдений средних месячных, годовых скоростей и направлений ветра, а также повторяемости штилей. Анализ проводился на основе сравнения двух периодов: 1) по данным до 1980 г., взятым из климатических справочников [79, 110]; 2) по специальным выборкам за 3-летний период наблюдений для МС «Бишкек» (1989–1991 гг.) и 11-летний период – для МС «Байтык» (1981–1991 гг.).

Эти данные позволили решить следующие задачи: критериально оценить изменчивость режима скорости ветра за период до и после 1980 г., т.е. к концу XX в.; качественно сравнить режимы направлений ветра (см. п. 2.3) до и после 1980 г.

В табл. 2.7 приведены средние месячные и годовые скорости ветра, количество штилей, среднее квадратическое отклонение средней месячной и годовой скорости ветра по данным справочников [79, 110] и выборки для МС «Бишкек» (1989–1991 гг.) и «Байтык» (1981–1991 гг.), а на рис. 2.8 и 2.9 – годовой ход средней месячной скорости ветра и среднего квадратического отклонения.

*Чуйская долина.* В Чуйской долине на подгорной равнине (МС «Бишкек») режим средних месячных скоростей ветра к концу XX в. практически не изменился. Из табл. 2.7 и рис. 2.8, а видно, что после 1980 г. скорости ветра лишь незначительно снизились. Так, средняя годовая скорость ветра уменьшилась на 0,1 м/с, а средние месячные скорости – на 0,1–0,3 м/с. При этом скорости в осенне-зимний период года понизились на 0,2–0,3 м/с, а весной и летом – всего на 0,1–0,2 м/с. Повторяемость штилей уменьшилась с 18 до 14%.

Оценки по  $t$ -критерию Стьюдента показывают, что различия средних скоростей ветра как в целом за год, так и по отдельным месяцам в двух рассматриваемых периодах наблюдений (1936–1980 гг. и 1989–1991 гг.) статистически не значимы на уровне доверительной вероятности  $p = 0,95$ .

Таблица 2.7

Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с) и ее среднее квадратическое отклонение (м/с), количество штилей (%) за различные промежутки времени в Чуйской долине и ее горном обрамлении

Период наблюдений	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год	Штиль, %
<b>МС «Бишкек» («Фрунзе») – подгорная равнина</b>														
Средняя месячная и годовая скорости ветра (м/с), количество штилей (%)														
1936–80 гг. (КС)	1,7	1,8	2,0	2,2	2,1	2,2	2,1	1,9	2,0	1,9	1,7	1,6	1,9	18
1989–91 гг. (В)	1,5	1,5	1,8	2,1	2,0	2,0	2,0	1,8	1,7	1,7	1,5	1,4	1,8	14
$t$ -критерий ( $t_{\text{крит}} = 2,0$ )	0,7	1,7	0,7	0,4	0,4	0,8	0,4	0,5	1,7	1,1	0,7	0,7	0,6	
Среднее квадратическое отклонение (м/с) средней месячной скорости ветра														
1936–80 гг. (КС)	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	
1989–91 гг. (В)	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	
$F$ -критерий ( $F_{\text{крит}} = 19,5$ )	6,3	2,3	6,3	1,0	16,0	4,0	1,8	1,0	2,3	2,3	25,0	–	9,0	
<b>МС Байтык – нижняя часть склона</b>														
Средняя месячная и годовая скорости ветра (м/с), количество штилей (%)														
1936–80 гг. (КС)	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,5	1,7	30
1981–91 гг. (В)	1,0	1,1	1,0	1,2	1,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	1,2	35
$t$ -критерий ( $t_{\text{крит}} = 2,0$ )	4,7	3,1	3,8	4,7	4,7	3,1	4,3	4,3	3,8	3,0	3,1	3,9	3,8	
Среднее квадратическое отклонение (м/с) средней месячной скорости ветра														
1936–80 гг. (КС)	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
1981–91 гг. (В)	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,1	0,3	
$F$ -критерий ( $F_{\text{крит}} = 2,7$ )	4,0	2,8	2,8	4,0	4,0	2,8	9,0	9,0	2,8	1,6	2,8	25,0	3,6	

Обозначения: КС – данные климатического справочника за период 1936–1980 гг. [79]; В – выборка за период 1989–1991 гг. (МС «Бишкек»), за период 1981–1991 гг. (МС «Байтык»).

Не менее интересной является задача оценки различий изменчивости скорости ветра в исследуемых периодах до и после 1980 г. Из рис. 2.9, а и табл. 2.7 видно, что СКО в период 1989–1991 гг. в целом было меньше СКО периода 1936–1980 гг. всего на 0,1–0,4 м/с (для года – на 0,2 м/с). При этом их годовой ход не совпадает. Оказалось, что по  $F$ -критерию Фишера во все месяцы и для года в целом дисперсии для 1936–1980 гг. и 1989–1991 гг. различаются незначительно ( $p = 0,95$ ), т.е. практически можно считать, что межгодовая изменчивость скорости после 1980 г. не изменилась по сравнению с периодом 1936–1980 гг.

*Нижняя часть склонов.* В нижней части склонов Киргизского Ала-Тоо (МС «Байтык», табл. 2.7 и рис. 2.8, б) к концу XX в. очень низкие средние годовые скорости снизились еще на 0,5 м/с (с 1,7 до 1,2 м/с), средние месячные – на 0,5–0,6 м/с, а в июле – августе



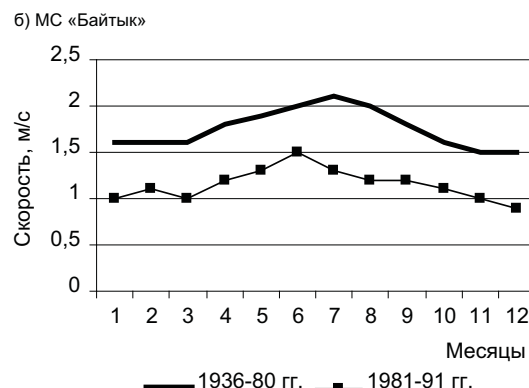
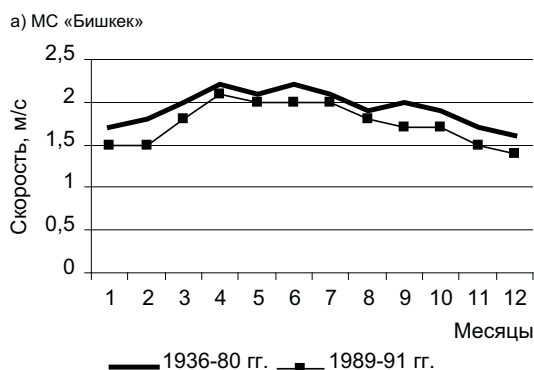


Рис. 2.8. Годовой ход средней месячной скорости ветра (м/с) в Чуйской долине (а) и ее горном обрамлении (б)

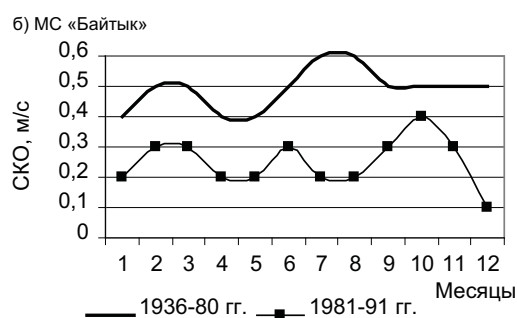
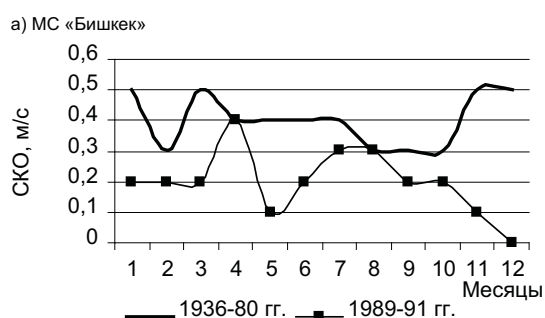


Рис. 2.9. Годовой ход среднего квадратического отклонения (м/с) средней месячной скорости в Чуйской долине (а) и ее горном обрамлении (б)

даже на 0,8 м/с (с 2–2,1 до 1,2–1,3 м/с), что по  $t$ -критерию является статистически значимым ( $p = 0,95$ ). При этом вид кривой годового хода скоростей остался практически без изменений (рис. 2.8, б). Повторяемость штилей здесь, напротив, незначительно увеличилась с 30 до 35 %. Снижение скоростей на МС «Байтык» и увеличение штилей, скорее всего, объясняется возросшей закрытостью станции: на удалении около 100 м ниже нее возник большой дачный массив с 1–3-этажными постройками и древесно-фруктовыми насаждениями.

Аналогично средним скоростям после 1980 г. снизились и характеристики их изменчивости – СКО и дисперсия. Так, годовое значение СКО уменьшилось на 0,2 м/с, а по месяцам – на 0,1–0,4 м/с. При этом годовой ход СКО до и после 1980 г. практически одинаков (рис. 2.9, б). Снижение дисперсий после 1980 г. по  $F$ -критерию оказалось статистически значимым ( $p = 0,95$ ), исключая октябрь. Это, видимо, также находит объяснение в увеличении местной защищенности станции.

Таким образом, выполненный анализ позволяет считать, что существенное снижение скоростей ветра после 1980 г. в ССЗК не произошло. Этот вывод в дальнейшем следует уточнить на более обширном материале. В целом он не противоречит данным для других регионов [13, 47, 48, 50, 56, 70, 72, 75, 76, 92, 107, 117, 118], из которых следует что скорости после 1980 г. или остались на прежнем уровне, или уменьшились. При этом наблюдаемые уменьшения скоростей в отдельных районах [75, 76, 117] примерно на 60% обусловлены увеличением защищенности, а на 40% – естественными изменениями климата.

### 2.3. Режим направлений ветра в приземном слое

Рассмотрим теперь режим направлений ветра в приземном слое, также по данным 20 МС (прил. 1) в различных зонах Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долин и окружающих склонов, включая оценку их изменений в конце XX в.

**Повторяемость направлений ветра.** В табл. 2.8 приведены средние месячные и годовые значения повторяемости направлений ветра (по 8 румбам), а на рис. 2.10 и в прил. 3 – розы направлений ветра для года и центральных месяцев сезонов, составленные по данным справочника [110]. В них станции ССЗК представлены согласно типизации их орографических условий (п. 2.1). Из этих данных можно сделать следующий вывод: режим направлений ветра в различных зонах ССЗК обусловлен, главным образом, тремя факторами: 1) развитием горно-долинной циркуляции; 2) ветрами общей циркуляции атмосферы; 3) рельефо-орографическими условиями территории. В результате в любой из зон ССЗК можно выделить две группы преобладающих диаметрально противоположных направлений ветра.

Более детальные особенности режима направлений сводятся к следующему (табл. 2.8, рис. 2.10, прил. 3).

*Чуйская долина и ее горное обрамление.* На оси Чуйской долины можно выделить в среднем за год две группы преобладающих направлений: 1-я группа – восточных (В и ЮВ) направлений, повторяемость которых в сумме составляет 42–53%; 2-я группа – западных (З и СЗ) румбов с общей повторяемостью около 30–36%. В сумме они наблюдаются в 72–89% случаев. Повторяемость остальных румбов ниже среднего значения, равного 12,5%. По сезонам года повторяемости направлений меняются мало, исключение – зима, когда несколько увеличивается (на 10–20%) повторяемость 1-й группы направлений. Две группы преобладающих направлений определяются развитием здесь горно-долинной циркуляции вдоль оси долины (1-я группа) совместно с ветрами ОЦА (2-я группа).

Кроме этого, увеличение повторяемости 1-й группы в зимний период года можно также объяснить часто развивающимся в это время кататическим (нисходящим) ветром, дующим с гор, и фенами (см. п. 2.6).

Некоторое несовпадение направления ветра на МС «Токмак» и долины (ЮВ направление) объясняется тем, что севернее Токмака от хребта Жети-Жол отходит отрог – Кастетский хребет в юго-западном направлении, он и создает вынужденный поворот ветра с ЮВ на В направление.

На подгорной равнине также выделяются две группы направлений: 1-я группа представлена Ю (ЮВ) румбом или смежными румбами (определяется склоновой горно-долинной циркуляцией); 2-я группа – от ЮЗ до СЗ румбов – ветры ГДЦ, СГДЦ и ОЦА. Повторяемость первой южной группы в году составляет 35–42%, с максимальным значением в осенне-зимний период года (до 42–53%) и минимальным – весной (24–34%). Повторяемость 2-й группы направлений (З и СЗ или З и ЮЗ румбы) в сумме составляет около 30%, которая может изменяться в течение года от 20 до 36%. Остальные румбы наблюдаются в менее чем 12,5% каждый.

В зоне подножья и нижней части склонов режим ветра полностью обуславливается СГДЦ и рельефо-орографическими условиями территории. В меридианально ориентированных долинах (МС «Юрьевка», «Байтык», «Норус» и «Арсан») Ю направление ветра наблюдается в году в 34 % (подножье склонов) – 50% (нижняя часть склонов) случаев, с наибольшим значением зимой, достигающим 60%. МС «Чон-Арык» расположена в узкой склоновой долине, имеющей ориентацию с ЮВ на СЗ. Поэтому здесь преобладает ЮВ направление ветра (1-я группа), которое регистрируется в 57% случаев в году, а зимой (январь)

Таблица 2.8

Годовая повторяемость (%) направлений ветра  
в различных зонах ССЗК [110]

Станция	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
<b>Чуйская долина и ее горное обрамление</b>								
Тип 1. Ось долины								
1. Чуйская	4	8	23	19	10	12	13	11
3. Константиновская	5	7	8	35	9	6	17	13
4. Токмак	2	3	53	5	2	3	22	10
Тип 2. Подгорная равнина								
5. Беловодск	9	6	5	7	35	15	14	9
6. Фрунзе	5	5	9	20	21	12	18	10
7. Калининское	6	11	6	12	35	11	12	7
8. Фрунзе АМСГ	4	3	6	8	42	9	18	10
Тип 3. Подножье северных склонов Киргизского Ала-Тоо								
9. Юрьевка	4	3	4	12	34	10	8	25
10. Чон-Арык	13	4	5	57	6	2	5	8
Тип 4. Нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо								
11. Байтык	22	11	1	3	47	13	1	2
12. Норус	5	6	3	5	46	14	18	3
13. Арасан	28	3	2	9	50	2	1	5
Тип 6. Верхняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо								
14. Ала-Арча	1	21	0	1	12	64	1	0
15. Тюя-Ашу сев.	5	1	1	38	47	6	0	2
16. Тюя-Ашу южн.	23	2	13	28	4	2	5	23
<b>Чон-Кеминская долина</b>								
Тип 1. Ось долины								
17. Новороссийка	8	34	15	3	6	14	14	6
<b>Таласская долина</b>								
Тип 1. Ось долины								
18. Кировское	10	3	7	15	4	6	16	39
19. Талас	0,2	6	50	4	1	11	26	2
Тип 2. Подгорная равнина								
20. Ленинполь	3	2	11	16	21	11	14	22
Тип 5. Средняя часть южного склона Киргизского Ала-Тоо								
21. Ак-Таш	3	9	51	2	4	10	19	2

Примечание: Нумерация станций дана согласно прил. 1.

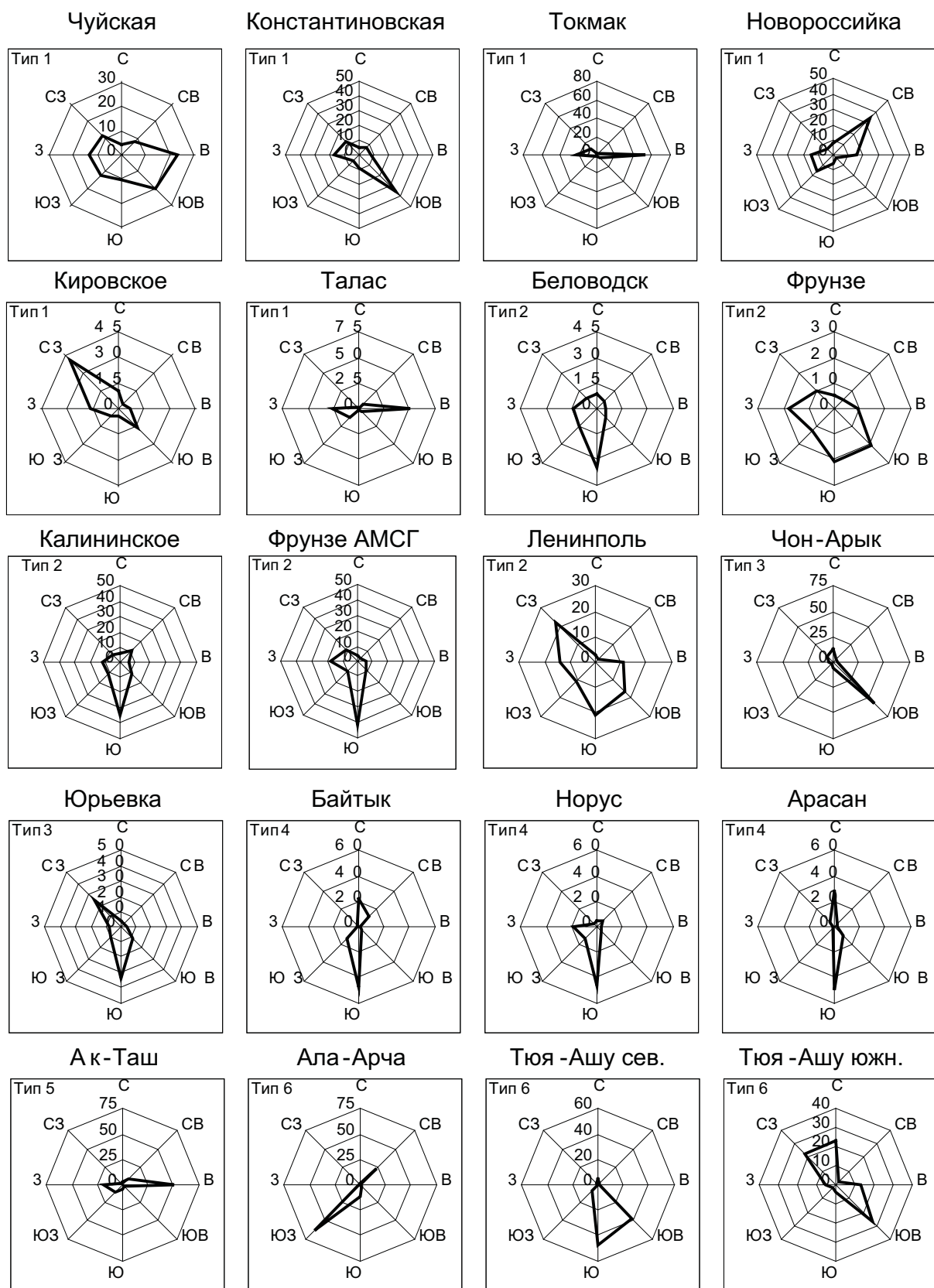


Рис. 2.10. Розы направлений ветра для года в различных зонах ССЗК

оно может достигать 74%. Повторяемость 2-й группы направлений (З, СЗ или С румбы) – менее 30%, в годовом ходе это значение может меняться на  $\pm 10\%$ . Остальные направления ветра – С, СВ, ЮЗ, З, СЗ – имеют повторяемость ниже средней (12,5%).

В средней части склонов режим направлений ветра следует ожидать аналогичный режиму подножья их нижней части.

В верхней части склона, где еще относительно велико влияние горно-долинной циркуляции (МС «Ала-Арча»), роза направлений ветра, согласно ориентации долины, вытянута в ЮЗ, смежных с ним Ю (1-я группа) и СВ (2-я группа) направлениях. В году 1-я группа наблюдается в 76% случаев, а зимой (в январе) достигает 89%, летом ее значение наименьшее – 58%. 2-я группа в целом за год фиксируется в 21% случаев, в холодный период года (зима – осень) ее значение мало – 6–13%, а летом (июнь) оно увеличивается до 39%. Каждое из остальных направлений ветра (С, В, ЮВ, З, СЗ) регистрируется менее чем в 2% случаев.

МС «Тюя-Ашу сев.» находится под воздействием ветров свободной атмосферы, которые за счет правого поворота ветра в слое трения над горами приобретают южные и смежные с ним направления. Они в сумме (ЮВ и Ю румб) наблюдаются в среднем за год в 85% случаев, зимой, весной и осенью это значение выше – 90–92%, а летом опускается до 72%. Повторяемость С, СВ, В, ЮЗ, З и СЗ румбов не превышает 8% как в году, так и в различные сезоны года. Исключение – лето (июль), когда С румб фиксируется в 16% случаев.

На МС «Тюя-Ашу южн.» также можно выделить две группы преобладающих направлений ветра: 1-я группа – С и СЗ румбы; 2-я группа – В и ЮВ румбы, повторяемость которых в году примерно одинакова, соответственно 46 и 41%. Группа 1 наиболее часто фиксируется зимой (январь) в 66 % случаев, а группа 2 в это время имеет повторяемость только 16%. Осенью картина меняется на противоположную: 1-я группа отмечается в 27% случаев, а 2-я – уже в 58%. Весной и летом незначительно преобладают ветры 2-й группы (на 10%) с повторяемостью 46–51%. СВ, Ю, ЮЗ, З румбы наблюдаются каждый менее чем в 12,5% случаев как в целом за год, так и в различные его периоды.

*Чон-Кеминс кая долина и ее горное обрамление.* На оси Чон-Кеминской долины (ориентирована на северо-восток) так же, как и Чуйской долины, можно выделить в среднем за год две группы преобладающих направлений ветра: 1-я группа – восточных (СВ и В) направлений, повторяемость которых в сумме составляет 49%; 2-я группа – западных (ЮЗ и З) румбов с общей повторяемостью около 28%. При этом зимой повторяемость 1-й группы направлений увеличивается до 71%, 2-й группы – уменьшается до 12%. Остальные румбы наблюдаются менее чем в 12,5% каждый.

Следует ожидать, что в склоновой части имеет место режим, аналогичный для горного обрамления Чуйской долины.

*Таласская долина и ее горное обрамление.* Режим направлений ветра на оси Таласской долины определяется, главным образом, рельефо-орографическими условиями и горно-долинной циркуляцией. Так, на МС «Талас» преобладающими являются два направления ветра – В (50% за год) и З (26% за год) румбы. В годовом ходе В румб имеет наибольшую повторяемость зимой (январь) – 68%, а наименьшую – весной (37%); З румб, напротив, зимой фиксируется в 10% случаев, а весной его повторяемость увеличивается до 26%. На МС «Кировское» наиболее часто в году фиксируются З и СЗ направления ветра с суммарной повторяемостью 55% за год, а по сезонам года это значение меняется от 51 до 61%. Повторяемость выше средней имеет ЮВ румб – 15% в году и по сезонам года от 10 до 19%. Каждое другое направление ветра наблюдается менее чем в 12,5%.

На подгорной равнине фиксируются оба вида циркуляции – ГДЦ и СГДЦ, поэтому как в году, так и во все периоды года будет велика повторяемость В и ЮВ, Ю ветров

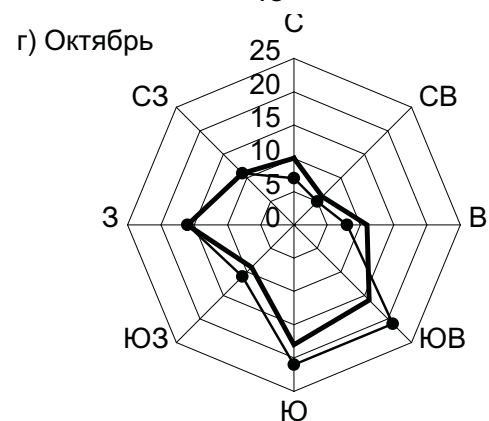
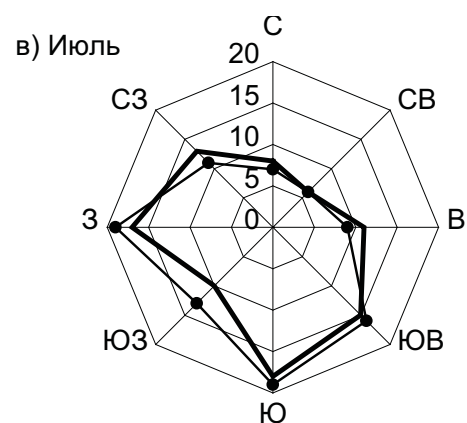
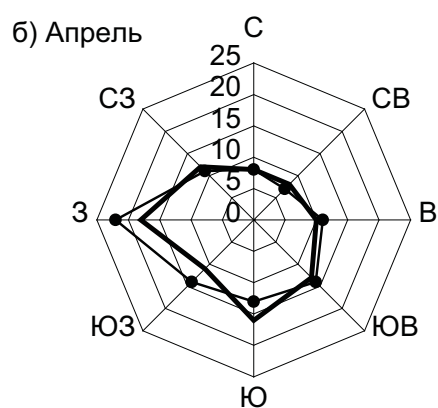
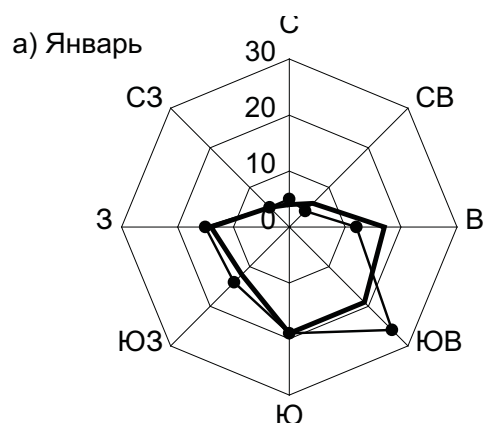


Рис. 2.11. Розы направлений ветра по центральным месяцам года в Чуйской долине (МС «Бишкек»). Обозначения см. на рис. 2.12

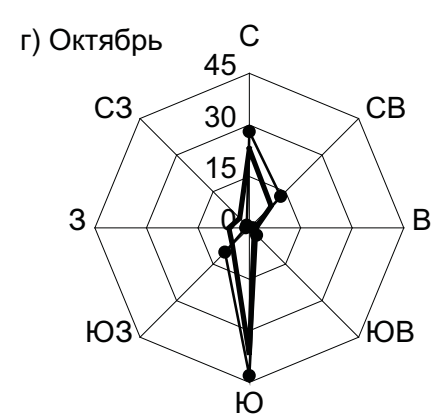
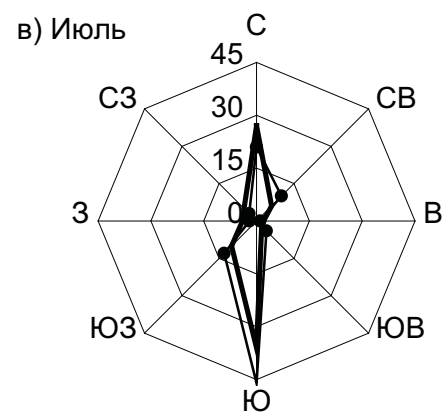
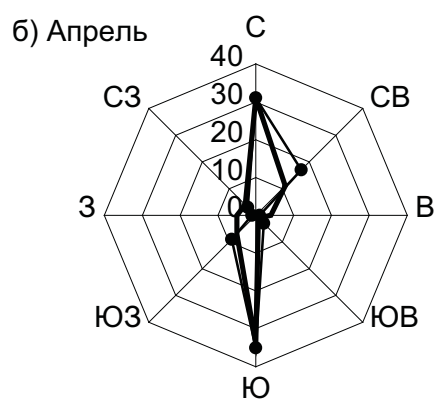
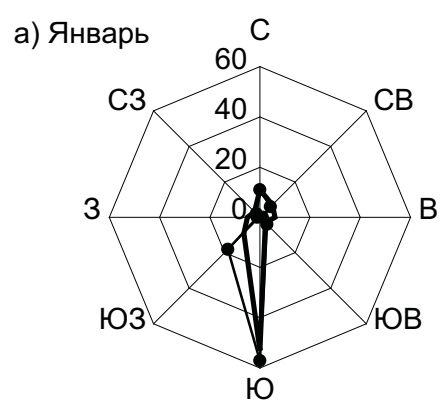


Рис. 2.12. Розы направлений ветра по центральным месяцам года в горном обрамлении Чуйской долины (МС «Байтык»). Обозначения см. на рис. 2.12



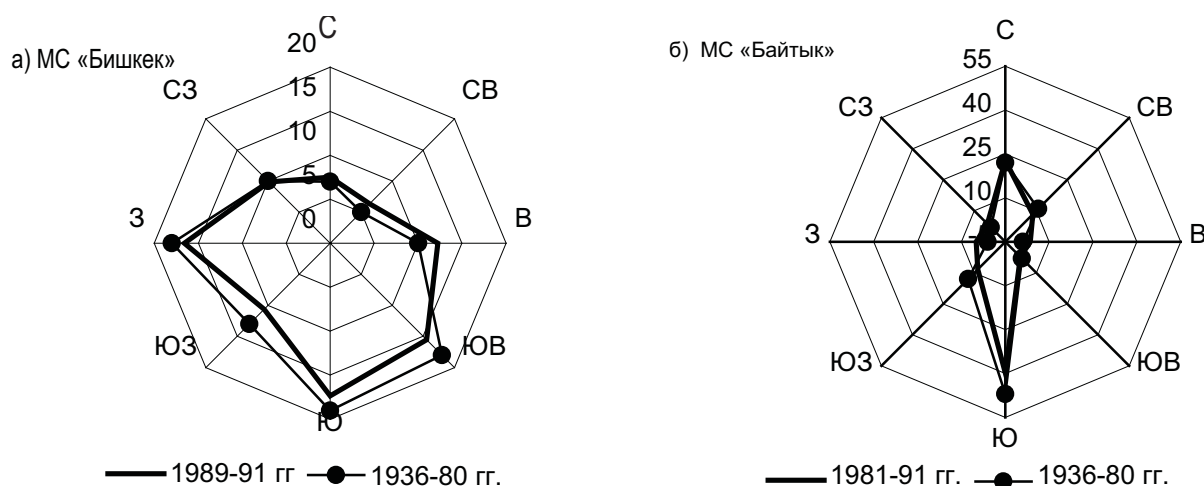


Рис. 2.13. Розы направлений ветра в году (%) в Чуйской долине (а) и ее горном обрамлении (б)

(1-я группа). В году эта группа направлений наблюдается в 48% случаев, с наибольшим значением зимой (70%), наименьшим – весной (35%). 2-я группа направлений ветра (З и СЗ румбы) наблюдается в 36% случаев, с максимумом – весной (49%) и минимумом – зимой (14%). Оставшиеся направления ветра как в целом за год, так и в различные сезоны имеют повторяемость ниже средней, равной 12,5%.

В средней части склона режим направлений ветра сходен с осью долины. Здесь преобладает В направление ветра с повторяемостью в году 51%, по сезонам это значение меняется от 68% (зимой) до 38% (весной). Вторым по повторяемости является З румб (19% в году), значение которого по сезонам года меняется от 11% (зимой) до 26% (весной). С, СВ, ЮВ, Ю, ЮЗ, СЗ румбы наблюдаются каждый менее чем в 12,5% случаев как в целом за год, так и в различные его периоды.

Таким образом, режим направлений ветра в трех долинах ССЗК и их горных обрамлениях в целом практически одинаков. Он главным образом определяется развитием здесь горно-долинной циркуляции, ее составляющих ГДЦ и СГДЦ, особенно в холодную половину года совместно со стоковыми ветрами. Исключение – гребневая зона хребтов, которая находится под воздействием ветров свободной атмосферы, которые за счет правого поворота ветра в слое трения над горами приобретают южные и смежные с ним направления. Повторяемость направлений ветра, в том числе и ветров ОЦА, мала и часто не превышает гипотетически среднего значения в 12,5%.

**Повторяемости направлений ветра в различные часы суток.** Направления ветра в различные части суток в каждой из зон ССЗК будут определяться составляющими ГДЦ, СГДЦ и ветрами ОЦА. Для осевой зоны Чуйской долины по данным наблюдений АМЦ «Манас» они будут рассмотрены в п. 3.2.

**Оценка изменений направлений ветра в конце XX в.** Анализ изменений направлений ветра в XX в. для ССЗК, насколько нам известно, до сих пор не проводился. Нами сделан такой анализ скоростей ветра (см. п. 2.2) для двух основных зон ССЗК – подгорной равнины Чуйской долины (МС «Бишкек»), а также для нижней части северного склона Киргизского Ала-Тоо (МС «Байтык»).

Данные многолетних наблюдений и собственных специальных выборок (см. п. 2.2) позволили качественно сравнить режимы направлений ветра до и после 1980 г.

В прил. 4 приведена повторяемость направлений ветра по месяцам и за год, а на рис. 2.11–2.13 показаны полученные розы направлений ветра для центральных месяцев сезонов и года для двух рассматриваемых периодов по станциям «Бишкек» и «Байтык».

Из этих данных наглядно видно, что во все сезоны и в году в целом в районах днища Чуйской долины и ее горном обрамлении заметных изменений повторяемости направлений ветра в период после 1980 г. не произошло. Геометрия фигур роз практически идентична до и после 1980 г. Наблюдающиеся различия (расхождения не превышают 2–7%) могут быть объяснены чисто случайными причинами, связанными с ограниченностью выборок. Следует предположить также, что не произошло изменений повторяемости направлений ветра в период после 1980 г. также в Таласской и Чон-Кеминской долинах и их горном обрамлении.

#### **2.4. Повторяемость горно-долинной циркуляции**

На территории ССЗК ветровой режим в значительной мере обусловлен наличием здесь горно-долинной циркуляции, параметры и зоны распространения которой, как уже отмечалось, приведены в работах [35, 77, 90, 98, 116]. Однако остается открытым вопрос оценки повторяемости горно-долинной циркуляции в Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долинах. О.М. Стрижанцевой [111] предложен метод количественной оценки повторяемости горно-долинной циркуляции по приземным ветровым данным, который она применила для Юго-Западного Кыргызстана. Суть его состоит в том, чтобы, используя относительную повторяемость направлений горной составляющей и штилей по данным климатических справочников для сроков 1 или 7 ч, т.е. времени, когда она выражена лучше всего, перейти к оценке частоты наблюдений горного ветра. Эта частота и будет показателем повторяемости горно-долинной циркуляции. Получаемые таким образом оценки повторяемости горно-долинной циркуляции могут быть несколько завышены в холодный период года из-за включения в них чисто стоковых ветров и ветров южных периферий антициклонов.

Для оценки повторяемости ГДЦ и СГДЦ в ССЗК по приземным ветровым данным по методу О.М. Стрижанцевой [111] нами использованы наблюдения 13 метеорологических станций, расположенных в различных частях днищ Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долин и в склоновых долинах до высот 2–2,5 км (прил. 1). Все станции, согласно положений п. 2.1, по их расположению и высоте были разделены на 5 типов (табл. 2.1, п. 2.1): тип 1 – станции, освещающие оси долин, где наблюдается ГДЦ и реже СГДЦ; тип 2 – станции, освещающие подгорные равнины, где может наблюдаться СГДЦ и ГДЦ; тип 3 – станции, освещающие зону подножий, а также станции, освещающие нижнюю (тип 4) и среднюю (тип 5) части склонов, где наблюдается только СГДЦ. Необходимые для расчетов данные справочников, а также сами расчеты повторяемости ГДЦ и СГДЦ приведены в табл. 2.9.

*Чуйская долина.* На территории Чуйской долины и ее горного обрамления повсеместно наблюдается высокая повторяемость горно-долинной циркуляции. Как видно из табл. 2.9, в верхней части оси долины (МС «Токмак»), где ГДЦ должна быть развита наиболее сильно, ее повторяемость в году составляет около 58% (210 случаев), а случаи с СГДЦ здесь отсутствуют. ГДЦ представлена ветрами В направления (80%). Некоторое несовпадение направления ветра и долины (ЮВ направление) объясняется, как уже отмечалось, тем, что севернее Токмака от хребта Жети-Жол отходит отрог – Кастетский хребет в юго-западном направлении, он и создает вынужденный поворот ветра с ЮВ на В направление. В центральной части оси долины (МС «Константиновская»), где отмечается как ГДЦ, так и СГДЦ, суммарная их повторяемость в году уже несколько меньше – 51%, или 187 случаев. Наконец, в крайней нижней части оси долины, где развитие циркуляции ослабевает и велико влияние общей циркуляции атмосферы (МС «Чуйская»),

Таблица 2.9

Оценка абсолютной повторяемости  $P$  (%) и число случаев  $n$  совместно ГДЦ и СГДЦ  
для года и сезонов, рассчитанные для станций ССЗК

Станция (высота, м)		t лет наблю- дений	Повторяемость горной состав- ляющей и штилей (%) в 1 или 7 часов по справочнику [110]	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
				P, %	n	P, %	n	P, %	n	P, %	n	P, %	n
Чуйская долина и ее горное обрамление													
Тип 1. Ось долины													
1.	Чуйская (596 м)	16	7 ч: В, ЮВ – 56%, шт. – 25%	42,0	153	37,2	33	45,5	42	52,7	49	34,1	31
2.	Константиновская (645 м)	14	1 ч: В, ЮВ, Ю – 72%, шт. – 29%	51,1	187	44,7	40	49,9	46	62,6	58	50,1	46
3.	Токмак (816 м)	21	1 ч: В – 80%, шт. – 28%	57,6	210	53,6	48	49,8	46	71,5	66	57,9	53
Тип 2. Подгорная равнина													
4.	Беловодск (726 м)	24	1 ч: ЮВ, Ю – 66%, шт. – 25%	49,5	181	46,5	42	44,9	41	55,7	51	53,0	48
5.	Фрунзе (756 м)	24	1 ч: В, ЮВ, Ю – 73%, шт. - 19%	59,1	216	51,5	46	53,8	50	72,0	66	62,9	57
6.	Фрунзе АМСГ (823 м)	17	1 ч: ЮВ, Ю – 78%, шт. – 14%	67,1	245	57,9	52	62,6	58	81,8	75	71,0	65
Тип 3. Подножье северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
7.	Чон-Арык (1110 м)	26	1 ч: ЮВ – 81%, шт. – 8%	74,5	272	72,6	65	67,0	62	78,6	72	76,9	70
Тип 4. Нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо													
8.	Байтык (1579 м)	21	1 ч: Ю – 79%, шт. – 21%	62,4	228	60,3	54	59,0	54	70,6	65	61,4	56
9.	Арасан (1800 м)	13	1 ч: ЮВ, Ю – 85%, шт. – 17%	70,6	258	68,6	62	62,7	58	81,8	75	71,6	65
Чон-Кеминская долина													
(Тип 1. Ось долины)													
10.	Новороссийка (1532 м)	17	1 ч: С, СВ, В – 79%, шт. – 17%	65,6	239	74,6	67	60,6	56	59,7	55	67,7	62
Таласская долина и ее горное обрамление													
Тип 1. Ось долины													
11.	Кировское (885 м)	7	7 ч: ЮВ, В – 43%, шт. – 54%	19,8	72	20,6	19	22,1	20	24,9	23	11,2	10
12.	Талас (1217 м)	15	1 ч: СВ, В – 84%, шт. – 22%	65,5	239	66,1	59	53,7	49	77,9	72	65,4	59
Тип 5. Средняя часть южного склона Киргизского Ала-Тоо													
13.	Ак-Таш (2100 м)	14	1 ч: СВ, В – 88%, шт. – 16%	73,9	270	77,4	70	62,6	58	81,2	75	72,2	66

годовая повторяемость ГДЦ уменьшается до 42% (153 случая), случаи с СГДЦ здесь, как и в районе Токмака, отсутствуют. Надо полагать, что далее к северо-западу, где долина исчезает, переходя в пески Муюн-Кума, исчезает и ГДЦ.

В годовом ходе наибольшая повторяемость циркуляции на оси долины регистрируется летом при слабом развитии ОЦА. В верхней осевой части долины она наблюдается в 72% (66 случаев за лето), повторяемость начинает уменьшаться в центральной части, где на МС «Константиновская» регистрируется в 63% (58 случаев за лето), а в нижней части оси долины (МС «Чуйская») – уже в 53% (49 случаев). В верхней части оси долины на МС «Токмак» минимум повторяемости наблюдается весной – 50% (49 дней за сезон), в средней части долины (МС «Константиновская») зимой – 45% (40 дней за сезон). Наконец, в нижней части оси долины (МС «Чуйская») минимум приходится на осень – 34% (31 случай).

На подгорной равнине, на удалении до 10–20 км от подножья, может наблюдаться как СГДЦ, так и ГДЦ. Их суммарная повторяемость в году на МС «Фрунзе» составляет 60% (216 случаев), а на расположенной в 50 км западнее МС «Беловодск» – 50% (181 случай). Эти станции находятся примерно в одинаковых физико-географических условиях – расположены на одной широте, высоте и равноудалены от склонов Киргизского Ала-Тоо, но на разном расстоянии от оси долины. Увеличение повторяемости на МС «Фрунзе» обусловлено тем, что кроме ГДЦ по оси долины, здесь часто развивается СГДЦ, а МС «Беловодск» расположена дальше от оси долины, где ГДЦ почти нет, поэтому и суммарная повторяемость циркуляции ниже. На станции «Фрунзе АМСГ» (район старого аэропорта) горно-долинная циркуляция представлена СГДЦ и ГДЦ, которые в году наблюдаются в 67% (245 случаев). В годовом ходе максимальное значение циркуляций на подгорной равнине также приходится на летний период года. В восточной ее части летом она наблюдается в 56% (51 случай за сезон), в центральной части повторяемость увеличивается до 72% (66 случаев), а при приближении к горам (станция «Фрунзе АМСГ») составляет 82% (75 случаев за сезон). Зимой и весной циркуляция выражена слабее. Так, на МС «Беловодск» (восточная часть подгорной равнины) весной она наблюдается в 45% (41 случай за сезон), а на МС «Фрунзе» и «Фрунзе АМСГ» (центральная часть подгорной равнины) зимой – в 52–58% (или 46–52 дня за сезон).

В зоне подножья северных склонов Киргизского Ала-Тоо наблюдается высокая повторяемость склоновой горно-долинной циркуляции. Случаев развития ГДЦ здесь, разумеется, нет. Так, в году на МС «Чон-Арык» повторяемость СГДЦ достигает 75%, или 272 дня за год. В годовом ходе максимум наблюдается летом и составляет 79%, а весенний минимум весьма высок, по сравнению со станциями типа 1 и 2, составляет 67%, или 62 дня за сезон.

В нижней части склона горно-долинная циркуляция представлена также только СГДЦ, в году ее повторяемость составляет от 62% (МС «Байтык») до 71% (МС «Арасан»). В годовом ходе можно выделить следующую особенность – повторяемость ее в летний период высока – до 71–82%, или 65–75 дней за сезон, а весенний минимум на всех станциях также высок и составляет около 60%, или 58 дней за сезон.

*Таласская долина.* Таласская долина так же, как и Чуйская, вытянута почти в широтном направлении, но она намного меньше, уже и практически закрыта со всех сторон. Горно-долинная циркуляция здесь, несомненно, должна быть представлена ГДЦ и СГДЦ, хотя имеющиеся станции позволяют выделить только ГДЦ. Так, на оси долины на МС «Талас» в году ее повторяемость больше по сравнению с аналогично расположенными станциями Чуйской долины примерно на 10–15% и равна 66% (239 случаев). Исключение составляет МС «Кировское», которая расположена у подножья хребта Эчкилюу-Тоо в орографически закрытой местности. Здесь практически не бывает ветра (54% штилей),

поэтому горно-долинная циркуляция наблюдается всего в 20% случаев, это 72 дня за год. Разница между МС «Талас» и МС «Кировское» составляет 46%, или 167 случаев. В годовом ходе горно-долинная циркуляция на оси долины наиболее развита летом – 78% (72 дня за сезон) на МС «Талас», и 25% (23 дня за сезон) на МС «Кировское». Весной наблюдаются минимальные значения повторяемости, хотя минимум высок – 54% (49 дней) на МС «Талас», на МС «Кировское» он приходится на осень и равен 11% (10 дней).

Для описания режима горно-долинной циркуляции средней части южного склона Киргизского Ала-Тоо были использованы данные МС «Ак-Таш». Станция расположена в центральной части широтной узкой долины р. Каракол, поэтому здесь будет ярко выражена ГДЦ вдоль оси долины. Это подтверждают и данные по повторяемости ее в году, которая составляет 74% (270 дней). В годовом ходе максимальное значение она принимает летом – 81% (75 случаев за сезон), а весной – минимальное, равное 63% (58 дней).

*Чон-Кеминская долина.* Эта долина является самой малой из всех долин ССЗК и имеет широтную ориентацию. Поэтому можно предположить, что в основном здесь преобладает горно-долинная циркуляция вдоль оси долины, т.е. ГДЦ. Это подтверждают данные МС «Новороссийка», где регистрируется около 66%, или 239 дней за год с ГДЦ (т.е. практически такое же, как и на осевой станции Таласской долины – МС «Талас»). Следует отметить, что в Чон-Кеминской долине наблюдается противоположный сезонный ход повторяемости горно-долинной циркуляции. Зимой повторяемость наибольшая – около 75% (67 дней за зиму), что можно объяснить хорошо развитым гравитационным стоком воздуха с заснеженных склонов в этот период года. Поэтому летом повторяемость оказывается на 15% меньше (60%, или 55 дней за сезон).

Таким образом, в узких склоновых долинах и зоне подножий наблюдается только СГДЦ. По оси обширной Чуйской долины в ее средней части, а также в подгорной равнине, на удалении от подножья до 10–20 км, может наблюдаться как ГДЦ, так и СГДЦ. Чтобы проанализировать здесь развитие каждой циркуляции отдельно (в зонах, где возможно их совместное проявление – ось долины и подгорная равнина), составлена табл. 2.10. В ней по станциям отдельно для ГДЦ и СГДЦ приведены абсолютные повторяемости ( $P_a$ ) каждой из циркуляций, рассчитанные (аналогично табл. 2.9) по соответствующей повторяемости направления горных составляющих и штилей. Кроме этого, для оценки относительного вклада повторяемостей ГДЦ и СГДЦ в их суммарную повторяемость приведены условные повторяемости ( $P_y$ ). В табл. 2.10 данные строчки  $P_a$  (числитель) представляют собой сезонные значения повторяемостей ГДЦ и СГДЦ, а строки  $P_y$  (знаменатель) – относительные доли их вклада в суммарную повторяемость  $P_a$  (ГДЦ и СГДЦ).

Так, для МС «Константиновская» – средняя часть оси долины – в году  $P_a$  (ГДЦ) равна 43% (155 случаев), что дает ее относительный вклад  $P_y$ , равный 83% в совместную повторяемость ГДЦ и СГДЦ, принятую за 100%. Соответственно СГДЦ в году наблюдается в 8,5% случаев (из 51% суммарной повторяемости ГДЦ и СГДЦ), а ее относительный вклад равен 17%. Годовой ход  $P_a$  (ГДЦ) в целом сходен с  $P_a$  (ГДЦ и СГДЦ), когда ее относительное увеличение наблюдается в теплый период года – летом до 55% (51 случай за сезон). В это время вклад  $P_y$  ГДЦ в суммарную циркуляцию равен 88%, весной он также высок – 89%. Минимальные значения  $P_a$  ГДЦ регистрируются зимой – около 38% (55 случаев за сезон), а ее наименьший вклад в суммарную циркуляцию  $P_y$  регистрируется весной – 76%. Повторяемости  $P_a$  и  $P_y$  СГДЦ имеют одинаковый годовой ход. Наибольшие значения наблюдаются осенью, когда  $P_a$  равна 12%, а ее относительный вклад в общую циркуляцию составляет 24% (11 случаев за сезон). В остальное время повторяемость СГДЦ меньше примерно в два раза с минимальным значением, наблюдающимся весной, когда  $P_a$  равна 5%, а  $P_y$  – всего 11% (это 5 случаев за сезон).



Таблица 2.10

Оценки абсолютной  $P_a$  (числитель) и условной  $P_y$  (знаменатель) повторяемости  $P(\%)$  и соответствующее им число случаев ( $n$ ) отдельно ГДЦ и СГДЦ для года и сезонов, рассчитанные для МС Чуйской долины

Станция (высота, м)	Тип циркуля- ции	Повторяемость горной состав- ляющей и штилей (%) в 1 или 7 часов по справочнику [110]	Год		Зима		Весна		Лето		Осень		
			$P_a$	$n$	$P_a$	$n$	$P_a$	$n$	$P_a$	$n$	$P_a$	$n$	
			$P_y$		$P_y$		$P_y$		$P_y$		$P_y$		
Чуйская долина и ее горное обрамление													
Тип 1. Ось долины													
Константиновская (645 м)	1. ГДЦ	1 ч: В, ЮВ – 60%, шт. – 29%	42,6	155	37,6	34	44,6	41	54,8	51	38,1	35	
			83,3		85		89,1		87,7		76,1		
	2. СГДЦ	1 ч: Ю – 12%, шт. – 29%	8,5	31	7,1	6	5,3	5	7,8	7	12,0	11	
			16,7		15		10,9		12,1		23,9		
Тип 2. Подгорная равнина													
Беловодск (726 м)	1. ГДЦ	1 ч: ЮВ – 9 %, шт. – 25%	6,8	25	7,1	6	6,7	6	7,7	7	5,8	5	
			13,8		14,3		14,6		13,7		10,4		
Фрунзе (756 м)	2. СГДЦ	1 ч: Ю – 57 %, шт. – 25%	42,8	156	39,5	36	38,3	35	48,0	44	47,2	43	
			86,2		85,7		85,4		86,3		89,6		
	1. ГДЦ	1 ч: В, ЮВ – 39%, шт. – 19%	31,6	115	29,8	27	31,0	29	37,3	34	31,0	28	
			53,2		57,4		58,0		51,5		49,1		
Фрунзе АМСГ (823 м)	2. СГДЦ	1 ч: Ю – 34%, шт. – 19%	27,5	101	21,7	20	22,8	21	34,7	32	32,0	29	
			46,8		42,6		42,0		48,5		50,9		
	1. ГДЦ	1 ч: ЮВ – 8%, шт. – 14%	6,9	25	6,3	6	9,1	8	6,3	6	4,4	4	
			10,2		11,3		14,0		8,0		6,2		
	2. СГДЦ	1 ч: Ю – 70%, шт. – 14%	60,2	220	51,7	47	53,5	49	75,5	69	66,6	61	
			89,8		88,7		86,0		92,0		93,8		

В центральной части подгорной равнины на МС «Фрунзе» (18 км от подножья северных склонов Киргизского Ала-Тоо), которая попадает в зону действия обоих колец горно-долинной циркуляции, повторяемости  $Pa$  ГДЦ и СГДЦ практически одинаковы – 32 и 28% соответственно. Если выразить их через  $P_y$ , то для ГДЦ она равна – 53% (115 случаев в год), а СГДЦ – 47% (101 случай), т.е. здесь незначительно преобладает ГДЦ – в 6% случаев. В годовом ходе  $Pa$  ГДЦ и СГДЦ принимают наибольшее значение летом и соответственно равны 37% (34 случая за сезон) и 35% (32 случая за сезон), а наибольший вклад в общую циркуляцию  $P_y$  ГДЦ вносит весной (58%), а СГДЦ – осенью (51%). Наименьшие значения повторяемости  $Pa$  ГДЦ и СГДЦ наблюдаются в холодный период года с небольшим их уменьшением зимой, когда  $Pa$  ГДЦ равна 30% (27 случаев за сезон), а СГДЦ – 22% (20 случаев за сезон). При этом наименьший вклад в общую циркуляцию  $P_y$  ГДЦ регистрируется осенью – 49%, а СГДЦ весной – 42%.

В восточной части подгорной равнины (МС «Беловодск», расположенная в 8 км от подножья) в году преобладает СГДЦ, абсолютная повторяемость которой равна 43% (156 случаев за год), на долю ГДЦ приходится всего 7%. Если сравнить их условные повторяемости  $P_y$ , то СГДЦ наблюдается в 86%, а ГДЦ – 14%; видно, что разница будет существенная и составит 72%. В годовом ходе наибольшая повторяемость  $Pa$  ГДЦ (8%, или 7 случаев за сезон) и СГДЦ (48%, или 44 случая за сезон) приходится на летний период года, причем в течение всего года эти значения практически не меняются. Небольшое уменьшение  $Pa$  у ГДЦ наблюдается осенью (6%, или 5 случаев за сезон), а у СГДЦ – весной (38%, или 35 случаев за сезон). Если сравнить вклады  $P_y$  ГДЦ и СГДЦ в общую циркуляцию, то наиболее сильно СГДЦ развивается осенью – 90%, следовательно, в этот же период года  $P_y$  ГДЦ будет мала – 10%. Весной будет относительно хорошо развиваться ГДЦ – 15%, а доля СГДЦ будет немного уменьшаться – 85%.

На станции «Фрунзе АМСГ», расположенной ближе всего к привалкам (4 км) и непосредственно склонам (13 км) Киргизского Ала-Тоо абсолютная повторяемость  $Pa$  СГДЦ составляет 60%, тогда как ГДЦ – 7%. Если выразить значения составляющих через их условную повторяемость, то в общей  $Pa$  (67%) доля СГДЦ будет составлять 90% (220 случаев за год), а ГДЦ – 10% (25 случаев за год). Повторяемости  $Pa$  и  $P_y$  ГДЦ здесь малы в течение всего года. Можно выделить весенний период, когда наблюдается небольшое ее усиление  $Pa$  – 9% (6 случаев за сезон),  $P_y$  – 14%, а также осенний период, когда ГДЦ мала:  $Pa$  – 4% (4 случая за сезон), а  $P_y$  – 6%.  $Pa$  СГДЦ максимальна летом – 76% (69 случаев за сезон), а ее вклад в общую циркуляцию наиболее высок осенью, когда  $P_y$  равна 94%, следовательно, зимой и осенью СГДЦ немного ослабевает.  $Pa$  СГДЦ наименьшая зимой – 52% (47 случаев за сезон), а  $P_y$  – весной, когда ее доля составляет 86%.

Таким образом, режим ветра на территории ССЗК в значительной мере обусловлен наличием здесь горно-долинной циркуляции, повторяемость которой в году, по нашим оценкам, составляет от 42 до 74%. Наиболее выражена она летом, а весной и зимой наблюдается ее уменьшение. Исключение составляет Чон-Кеминская долина, где наблюдается противоположный годовой ход – зимой повторяемость наибольшая из-за развитого гравитационного стока воздуха с заснеженных склонов.

В склоновых долинах и зоне подножья наблюдается только СГДЦ. На оси Чуйской долины, как правило, наблюдается только ГДЦ, хотя в средней части оси долины возможно возникновение СГДЦ до 10%. На подгорной равнине ближе к подножью абсолютно преобладает СГДЦ, при смещении к оси долины возникает ГДЦ, повторяемость которой увеличивается в направлении оси долины. При этом соотношение между ГДЦ и СГДЦ также изменяется при смещении с востока на запад в сторону расширения долины – уве-

личивается повторяемость СГДЦ и уменьшается ГДЦ. Наибольший вклад в общую циркуляцию ГДЦ вносит весной, а СГДЦ – осенью.

## 2.5. Особенности режима средних скоростей ветра в нижней тропосфере над Чуйской долиной

Приведенный в пп. 2.1–2.4 анализ режима ветра в приземном слое в различных зонах ССЗК может быть существенно дополнен сведениями о режиме средних скоростей ветра в нижней тропосфере над Чуйской долиной до высоты 3 км над земной поверхностью (около 4 км над уровнем моря).

В качестве исходного материала нами использовались данные 10-летних наблюдений (1966–1975 гг.) АС «Фрунзе» (рис. 2.14), по которым в справочниках [9, 10] были рассчитаны средние месячные скорости ветра на различных высотах до 3 км над уровнем станции (0,76 км) за два срока – 06 ч (ночь) и 18 ч (день) по местному времени, а также их статистики – коэффициенты вариации ( $(C(V))$ ), асимметрии ( $(A(V))$ ) и эксцесса ( $(E(V))$ ) и коэффициент межуровневой корреляции модуля скорости ветра  $r$ .

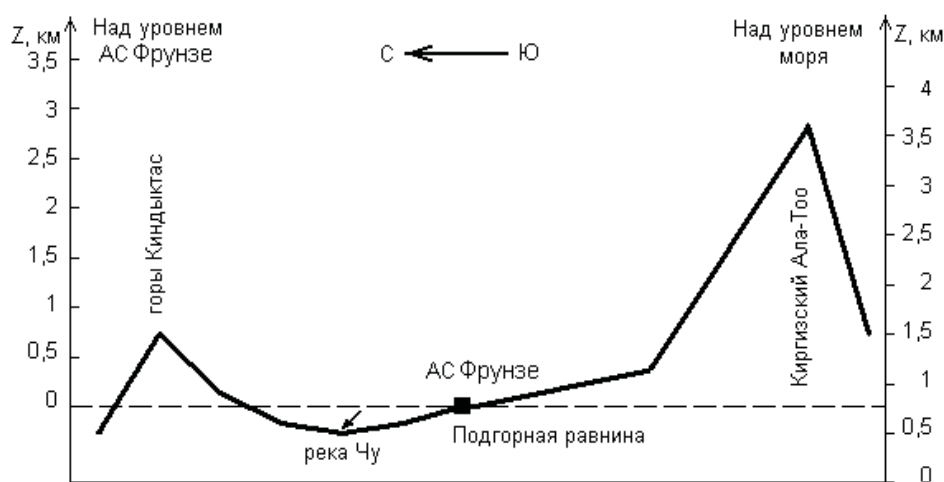


Рис. 2.14. Схема меридионального разреза рельефа Чуйской долины на меридиане АС «Фрунзе»

Из табл. 2.11 и рис. 2.15 видно, что во все сезоны года для дня и ночи вид профилей средней скорости ветра качественно имеет один и тот же характер: 1) скорости ветра относительно быстро растут в самом нижнем приземном слое от значений около 2 м/с на высоте флюгера (10 м) до 3,5–5,0 м/с на высотах 300 м; 2) в слое 300–900 м профиль ветра имеет сложный характер с образованием локальных максимума и минимума на его границах; 3) от 900 до 2000 м скорости ветра сначала относительно медленно растут с высотой до 4,5–6,0 м/с; 4) затем в слое 2000–3000 м их рост ускоряется, так что на высоте 3 км над станцией (3,76 км над уровнем моря) они достигают 8–10 м/с, которые соответствуют скоростям ветра свободной атмосферы; 5) численно во все сезоны профили для дня и ночи практически совпадают.

Таблица 2.11

Статистические характеристики модуля скорости ветра на АС «Фрунзе» [9]

Высота, км	$\bar{V}$ , м/с	$(C(V))$	$(A(V))$	$(E(V))$	$\bar{V}$ , м/с	$(C(V))$	$(A(V))$	$(E(V))$
06 ч (ночь)								
	Январь				Апрель			
Земля (0)	1,9	0,84	1,1	1,5	2,1	0,90	1,3	2,3
0,3	3,3	0,67	1,1	1,5	4,5	0,76	1,4	2,2
0,6	3,8	0,71	1,1	1,1	4,1	0,71	1,5	3,2
0,9	4,0	0,75	1,4	3,1	4,1	0,73	1,8	4,8
2	5,8	0,72	1,5	2,9	5,5	0,58	0,9	0,9
3	10,0	0,49	0,4	-0,5	8,3	0,57	0,8	0,6
	Июль				Октябрь			
Земля (0)	2,2	0,64	1,6	5,1	1,9	0,68	1,0	2,5
0,3	4,1	0,76	1,8	4,3	3,8	0,79	1,5	2,5
0,6	4,3	0,67	1,6	3,4	3,9	0,74	1,7	3,5
0,9	3,8	0,71	1,6	4	3,7	0,76	1,8	4,0
2	4,3	0,63	1,3	2,1	4,9	0,59	1,1	2,1
3	7,2	0,50	0,7	0,5	8,5	0,55	0,5	-0,1
18 ч (день)								
	Январь				Апрель			
Земля (0)	1,8	0,89	1,4	3,2	3,2	0,66	1,3	2,2
0,3	3,6	0,75	1,6	3,2	4,9	0,61	1,6	4,8
0,6	3,8	0,74	1,4	2,1	4,6	0,67	1,8	4,2
0,9	4,1	0,68	1,3	1,9	4,2	0,62	1,3	2,0
2	5,5	0,75	1,9	6,0	5,2	0,58	1,2	3,4
3	9,7	0,52	0,7	0,2	8,1	0,51	0,6	0,4
	Июль				Октябрь			
Земля (0)	2,7	0,70	1,2	1,8	2,0	0,75	1,8	6,2
0,3	4,6	0,59	1,2	1,5	3,9	0,56	1,1	1,6
0,6	4,4	0,64	2,2	8,0	3,8	0,63	1,3	2,1
0,9	4,0	0,65	1,8	4,9	3,7	0,62	1,3	1,8
2	4,8	0,60	1,5	4,4	4,7	0,62	1,6	3,5
3	6,9	0,54	0,6	0	8,4	0,50	0,5	-0,3

Более детальные особенности высотных профилей модуля скорости ветра сводятся к следующему.

**Зима.** В январе ночью (06 ч) скорости ветра в слое 0–300 м малы и составляют 1,9–3,3 м/с, такие же низкие их значения сохраняются и днем (18 ч) – 1,8–3,6 м/с. Выше, в слое 300–900 м, скорости днем и ночью также практически равны, их локальные минимум и максимум почти не выражены, и они постепенно увеличиваются с высотой от 3,3 до 4,1 м/с. В слое 900–2000 м приблизительное равенство скорости днем и ночью также сохраняется: 4,0–4,1 м/с – на высоте 900 м и 5,5–5,8 м/с – на высоте 2 км. Из рис. 2.15 видно, что скорости увеличились с изменением высоты в 1,5 раза. В слое 2000–3000 м, который является верхней частью переходного слоя от зоны с хорошо развитой ГДЦ (ниже 1 км) к слою с потоками ОЦА (выше 3–3,5 км), скорости также мало меняются в течение суток. Кроме этого, на высоте 2 км они в два раза меньше, чем на высоте 3 км, соответственно равны 5,5–5,8 и 9,7–10 м/с.

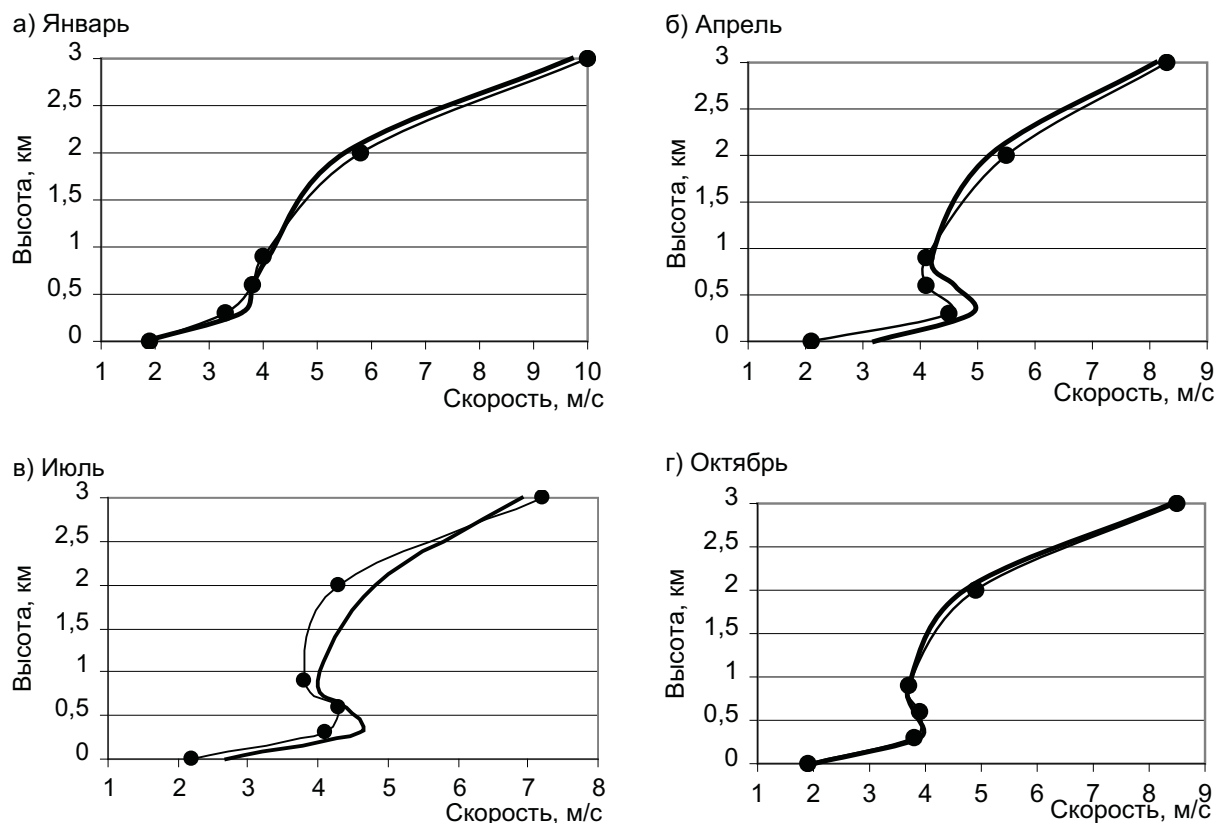


Рис. 2.15. Распределение средней скорости ветра по высоте в различные месяцы года  
(—●— срок 06 ч; — срок 18 ч)

**Весна.** В апреле в слое 0–300 м наблюдаются наибольшие за год скорости ветра: ночью их значения равны 2,1–4,5 м/с, а днем они выше – 3,2–4,9 м/с. В слое 300–900 м скорости также одни из самых высоких в году, а ночью ниже, чем днем (примерно на 0,5 м/с). Кроме этого, максимум скорости выражен на высоте 300 м (ночью скорости равны – 4,5 м/с, днем – 4,9 м/с), минимум – на высоте 900 м (ночью – 4,1 м/с, днем – 4,2 м/с). В слое 900–2000 м скорости ветра практически не меняются по сравнению с зимним периодом, днем и ночью они примерно одинаковы: 4,0–4,2 м/с на высоте 900 м и 5,2–5,5 м/с на высоте 2 км. Скорости ветра в слое 2000–3000 м ночью выше на 0,3 м/с, чем днем, на высоте 2000 м они равны 5,2–5,5 м/с, а на 3000 м – 8,1–8,3 м/с.

**Лето.** В июле скорости в слое 0–300 м относительно высоки, хотя их значение несколько ниже весенних. Так, ночью они находятся в пределах 2,2–4,1 м/с, а днем немного выше – 2,7–4,6 м/с. Максимум скорости ветра в слое 300–900 м, наблюдаемый на высоте 300 м, равен: ночью – 4,1 м/с, днем – 4,6 м/с, а минимум на высоте 900 м составляет: ночью – 3,8 м/с, днем – 4,0 м/с. В слое 900–2000 м скорости с высотой увеличиваются примерно в 1,2 раза, а разница ночь – день может достигать 0,5 м/с. Так, на высоте 900 м скорости равны: ночью – 3,8 м/с, днем – 4,0 м/с, на высоте 2 км: ночью – 4,3 м/с, днем – 4,8 м/с. В слое 2000–3000 м скорости ветра на высоте 2 км ночью (4,3 м/с) меньше, чем днем (4,8 м/с), а на высоте 3 км, наоборот, больше и соответственно равны 7,2 и 6,9 м/с.

**Осень.** В октябре в слое 0–300 м скорости ветра снижаются и мало изменяются в течение суток (1,9–3,9 м/с ночью и днем). Выше, в слое 300–900 м, максимум на высоте 300 м и минимум на высоте 900 м выражены слабее, чем в другие сезоны года (изменение – менее 0,2 м/с). При этом ночью и днем они равны 3,7–3,9 м/с. Скорости ветра днем и ночью в слое



900–2000 м одинаковы, на высоте 900 м – 3,7 м/с, 2 км – 4,7–4,9 м/с (т.е. увеличиваются примерно на 1 м/с). В слое 2000–3000 м скорости днем и ночью разнятся мало: на высоте 2000 м – 4,7–4,9 м/с, на высоте 3000 м – 8,4–8,5 м/с.

Характер статистических распределений скорости ветра во всех слоях зимой, весной, летом и осенью в различное время суток (день и ночь) в целом одинаков: распределение сильно правоасимметрично ( $(A(V) = 0,4–2,2)$ ) и островершинно ( $(E(V) = 1,1–8,0)$ ), при этом на высоте 3000 м ( $E(V)$ ) может быть близким к нулю. Изменчивость отдельных значений  $V_i$  около своих средних  $\bar{V}$  высока:  $(C(V) = 0,49–0,90)$ . Все это свидетельствует о том, что максимальные значения скорости могут превышать средние значения в несколько раз.

Рассмотрим, насколько сильно связаны между собой скорости ветра у Земли и на различных высотах ночью и днем. В табл. 2.12 приведены коэффициенты межуровневой корреляции скорости ветра  $r$  в 3-километровом слое над АС «Фрунзе». Все приводимые коэффициенты корреляции  $r$  рассчитаны между скоростью ветра у поверхности земли и высотами 300, 600, 900, 2000 и 3000 м.

Таблица 2.12

Коэффициенты межуровневой корреляции скорости ветра  $r$  по данным АС «Фрунзе» [10]

Срок	Месяц	Высота, м					
		Земля	300	600	900	2000	3000
06 ч (ночь)	Январь	Земля	0,38	0,44	0,35	0,11	0,19
	Апрель	Земля	0,57	0,43	0,31	0,12	0,10
	Июль	Земля	0,43	0,29	0,25	0,09	0,15
	Октябрь	Земля	0,43	0,30	0,27	0,16	0,21
18 ч (день)	Январь	Земля	0,66	0,46	0,32	0,15	0,19
	Апрель	Земля	0,61	0,51	0,41	0,15	0,03
	Июль	Земля	0,68	0,52	0,48	0,22	0,08
	Октябрь	Земля	0,52	0,41	0,29	0,26	0,22

Из табл. 2.12 видно, что скорости наиболее связаны между собой в нижнем слое до высоты 300 м. Кроме этого, днем во все периоды года зависимость сильнее, чем ночью. Так, коэффициент корреляции скорости ветра  $r$  днем (18 ч) равен 0,6–0,7 в период с января по июль, в октябре его значение меньше и составляет примерно 0,5. Это, скорее всего, объясняется более интенсивным развитием днем долиненной составляющей ГДЦ в весенне-летний период года. Ночью здесь корреляция скоростей во все периоды года составляет 0,43–0,57.

К высоте 600 и 900 м корреляционные связи прослеживаются, но уже слабо. Коэффициент  $r$  ночью равен 0,3–0,4 во все периоды года. Днем он выше, так как еще велико влияние ГДЦ при  $r = 0,4–0,5$ . Зимой и осенью, когда повторяемость ГДЦ меньше,  $r = 0,3–0,5$ .

К высоте 2 и 3 км коэффициенты корреляции  $r$  становятся очень малыми (0,1–0,2), т.е. связь между скоростями у земной поверхности и на рассматриваемых высотах практически отсутствует.

Таким образом, по характеру распределения скорости ветра от земной поверхности до высоты 3 км над Чуйской долиной можно выделить четыре слоя: Земля – 0–300 м, 300–900 м, 900–2000 м и 2000–3000 м. Для первых двух слоев характерен профиль средней скорости с наличием максимума и минимума на высотах около 300 и 900 м. В слое 1–3 км скорости ветра монотонно растут до 8–10 м/с. Для скоростей типична большая

межгодовая изменчивость ( $(C(V) = 0,49-0,90)$ ), а их статистическое распределение сильно правоасимметрично ( $(A(V) = 1,0-2,2)$  и островершинно ( $(A(V) = 1,1-8,0)$ ).

Скорости ветра корреляционно достаточно тесно связаны между собой в пределах малого по толщине слоя, равного 300 м. При этом они лучше коррелируют между собой в теплый период года, когда хорошо развита горно-долинная циркуляция и ее долинная составляющая.

## 2.6. Возможные повышения температуры в Чуйской долине при восточных и южных ветрах в зимний период

Расположение и орография Чуйской долины благоприятны для развития восточных фенів, вдоль оси долины и южных по склону Киргизского Ала-Тоо, когда синоптический градиент давления имеет северо-западные и близкие к нему направления. В результате по оси Чуйской долины возникают восточные ветры нисходящего характера над ее восточной частью и горным обрамлением. При этом внутри меридиональных склоновых долин северного склона Киргизского Ала-Тоо и непосредственно над ними ветры могут быть южными в соответствии с ориентацией склона хребта и долин.

Для исследования фенового эффекта восточных (ось долины) и южных (подножье Киргизского Ала-Тоо) ветров были сделаны специальные температурные выборки по четырём станциям («Токмак», «Ысык-Ата», «Бишкек», «Кара-Балта») за декабрь, январь и февраль 2000–2003 гг. По выборкам рассчитаны средние суточные разности  $\Delta T$  относительно МС «Токмак», т.е.

$$\Delta T = T_{\text{Токмак}} - T_{\text{МС}} \quad (2.2)$$

Днем с феновым эффектом считался только такой день, когда превышение температуры в Токмаке относительно Бишкека было  $2^{\circ}\text{C}$  и более, т.е.

$$\Delta T_{\text{крит}} = T_{\text{Токмак}} - T_{\text{Бишкек}} \geq 2^{\circ}\text{C}. \quad (2.3)$$

Значения  $\Delta T$  по (2.2) были рассчитаны для всех 361 дней трех зимних месяцев 2000–2003 гг., затем по критерию  $\Delta T_{\text{крит}} \geq 2^{\circ}\text{C}$  выделены дни с повышением температуры выше критических. Всего за 4 года наблюдалось 70 таких случаев (см. табл. 2.13), т.е. в среднем 6 дней в месяц. Из них 35 случаев приходились на декабрь, когда преобладание имело место не только по количеству дней, но и по увеличению температуры, 19 – на январь и 16 – на февраль, когда повышения температур наблюдались реже. Наибольшее число дней с феновым эффектом наблюдалось в 2003 г. (21 день), наименьшее – в 2001 (14 дней), в 2002 и 2000 гг. было соответственно по 18 и 17 дней.

Таблица 2.13

Количество дней с феновым эффектом по (2.3) за зимние месяцы 2000–2003 гг.

	2000	2001	2002	2003	Всего за 4 года
Декабрь	9	5	12	9	35
Январь	3	6	3	5	19
Февраль	5	3	3	7	16
Всего за три месяца	17	14	18	21	70

Продолжительность случаев повышения температур может составлять от одного до нескольких дней. Наиболее часто, в 29 случаях, длительность составляла 1 день, в 10 случаях она наблюдалась подряд 2 дня, в одном случае из 70 наблюдалась 3, 4 и 6 дней подряд. Также были периоды по 3–5 дней, когда наблюдалось то усиление, то ослабление фенового эффекта. В табл. 2.14 приведены рассчитанные статистики эмпирических распределений для  $\Delta T \geq 2^{\circ}\text{C}$ .

Статистические характеристики распределений  
критических превышений температуры  $\Delta T \geq 2^\circ\text{C}$  по станциям

$\Delta T = T_{\text{Токмак}} - T_{\text{МС}}$	$\Delta \bar{T} \pm \text{СТ}$	$\sigma(\Delta T) \pm \text{СТ}$	$A(\Delta T) \pm \text{СТ}$	$E(\Delta T) \pm \text{СТ}$
Бишкек	$3,14 \pm 0,17$	$1,42 \pm 0,12$	$2,26 \pm 0,29$	$5,95 \pm 0,59$
Кара-Балта	$3,27 \pm 0,23$	$1,86 \pm 0,16$	$0,74 \pm 0,31$	$1,48 \pm 0,61$
Ысык-Ата	$2,25 \pm 0,22$	$1,75 \pm 0,16$	$0,03 \pm 0,31$	$-0,37 \pm 0,62$

Обозначения:  $\Delta \bar{T}$  – среднее значение превышений температуры;  $\sigma(\Delta T)$  – среднее квадратическое отклонение;  $A(\Delta T)$  и  $E(\Delta T)$  – коэффициенты асимметрии и эксцесса; СТ – стандартные ошибки.

Оценим вначале возможные повышения температуры в Токмаке по значениям  $\Delta T$  для станций подгорной равнины – «Бишкек» и «Кара-Балта». Как видно из табл. 2.14, средние значения  $\Delta \bar{T}$  по обеим станциям дают более высокие температуры в Токмаке в дни с феновым эффектом практически на одну и ту же величину –  $3,1$ – $3,3^\circ\text{C}$ . Это свидетельствует о том, что чаще всего относительное повышение температуры заканчивается на участке Токмак – Бишкек, составляя в среднем около  $3^\circ\text{C}$  для средней суточной температуры в верхней части Чуйской долины.

Изменчивость значений  $\Delta T$ , т.е.  $\sigma(\Delta T)$ , по МС «Бишкек» и «Кара-Балта» соответственно равна  $1,4$  и  $1,9^\circ\text{C}$ . Распределения  $\Delta T$  по этим станциям имеют сильную правую асимметрию ( $A(\Delta T) = 0,74 \dots 2,26$ ), так что возможны достаточно большие отклонения  $\Delta T$  от средних значений вправо. Коэффициенты эксцесса  $E(\Delta T)$  указывают на островершинность распределений  $\Delta T$  ( $E(\Delta T) = 1,5$  и  $6,0$ ).

В результате, если оценить максимальное значение  $\Delta T$  по правилу

$$\Delta T_{\text{макс}} = \Delta \bar{T} + k\sigma(\Delta T), \quad (2.4)$$

задав  $k = 2, 3$  и  $4$ , то соответственно получим значения  $\Delta T_{\text{макс}}$  для Токмака относительно Бишкека около  $6, 7,5$  и  $8,9^\circ\text{C}$ . Фактический максимум по Бишкеку составил  $8,5^\circ\text{C}$  (17 декабря 2003 г.), что практически совпадает со значением для  $k = 4$ . Заметим, что хотя  $\sigma(\Delta T)$  в Кара-Балте несколько больше, чем в Бишкеке, но меньшая асимметрия распределения ( $A(\Delta T) = 0,74$ ) свидетельствует о том, что  $\Delta T_{\text{макс}}$  здесь, скорее всего, примерно такие же, как в Бишкеке. Так, фактическое  $\Delta T_{\text{макс}}$  в Кара-Балте равно  $9,5^\circ\text{C}$  (12 декабря 2000 г.).

Превышение температуры в Токмаке по значениям  $\Delta T$  для МС «Ысык-Ата» в среднем на  $1^\circ\text{C}$  меньше ( $\Delta \bar{T} = 2,3^\circ\text{C}$ ), чем для МС «Бишкек» и «Кара-Балта». Видимо, сказывается эффект высоты, т.к. если привести это  $\Delta \bar{T}$  к уровню Токмака по градиенту  $0,5^\circ/100$  м, то оно окажется равным  $3,4^\circ\text{C}$ , т.е. таким же, как и на первых двух станциях. Возможно, «южный» феновый эффект является более слабым по сравнению с «восточным». Значение изменчивости  $\sigma(\Delta T)$  такое же, как на МС «Бишкек» и «Кара-Балта». Однако асимметрия и эксцесс распределений могут быть приняты за нулевые, так как их стандартные ошибки по модулю больше самих значений  $A(\Delta T)$  и  $E(\Delta T)$ . Фактически максимум  $\Delta T$  здесь также меньше –  $5,5^\circ\text{C}$ .

Таким образом, исходя из принятого критерия  $\Delta T_{\text{крит}} \geq 2^\circ\text{C}$  по (2.3), феновый эффект при восточных ветрах в Чуйской долине наблюдается в среднем 15–20 раз за зиму (декабрь – февраль) и дает относительные средние суточные повышения температуры в Токмаке, по сравнению с МС «Бишкек» и «Кара-Балта», на  $3,0$ – $3,5^\circ\text{C}$ , имея максимальные значения  $\Delta T$  до  $5$ – $10^\circ\text{C}$  и, видимо, даже более в отдельных случаях. Такой эффект

захватывает верхнюю часть долины, ослаблен по силе западнее Токмака и постепенно сходит на «нет» при смещении к западу.

Наблюдается тесная связь между типами синпроцессов и частотой повторения  $\Delta T_{\text{крит}}$ . В табл. 2.14 приведены абсолютная (безусловная) повторяемость типов синоптических процессов ( $P_m$ ) и относительная (условная) повторяемость  $\Delta T_{\text{крит}}$  при этих типах ( $P_{\Delta T}$ ), а на рис. 2.15 – их гистограммы. Совместный анализ  $P_{\Delta T}$  и  $P_m$  позволяет полнее судить о реальных частотах фенотипов в году, так как абсолютное (безусловное) значение повторяемости  $\Delta T_{\text{крит}}$  равно:

$$P = P_{\phi} \cdot P_m. \quad (2.5)$$

Таблица 2.14

Повторяемости (%) типов синоптических процессов в Кыргызстане ( $P_m$ )  
и относительная повторяемость ( $P_{\Delta T}$ )

Тип процесса	$P_m$ , %	$P_{\Delta T}$ , %	Тип процесса	$P_m$ , %	$P_{\Delta T}$ , %
1. Южнокаспийский циклон	2,9	0	9а. Южная периферия антициклона	14,4	15,7
2. Мургабский циклон	2,1	2,9	9б. Юго-восточная периферия антициклона	7,6	1,4
3. Верхнеамударьинский циклон	1,6	2,9	10. Западное вторжение	14,4	10
4. Широкий вынос теплого воздуха	0,1	1,4	11. Термическая депрессия	0	0
5. Северо-западное вторжение	1,7	2,9	12. Малоградиентное поле пониженного давления	2,6	2,9
6. Северное вторжение	2,2	2,9	12а. Малоградиентное поле повышенного давления	6,8	4,9
7. Волновая деятельность	8,9	5,7	13. Центральная часть антициклона	0,3	0
8. Малоподвижный циклон	1,0	0	14. Теплый сектор циклона, или предфронтальное положение	15,9	4,9
9. Юго-западная периферия антициклона	16,3	42,9			

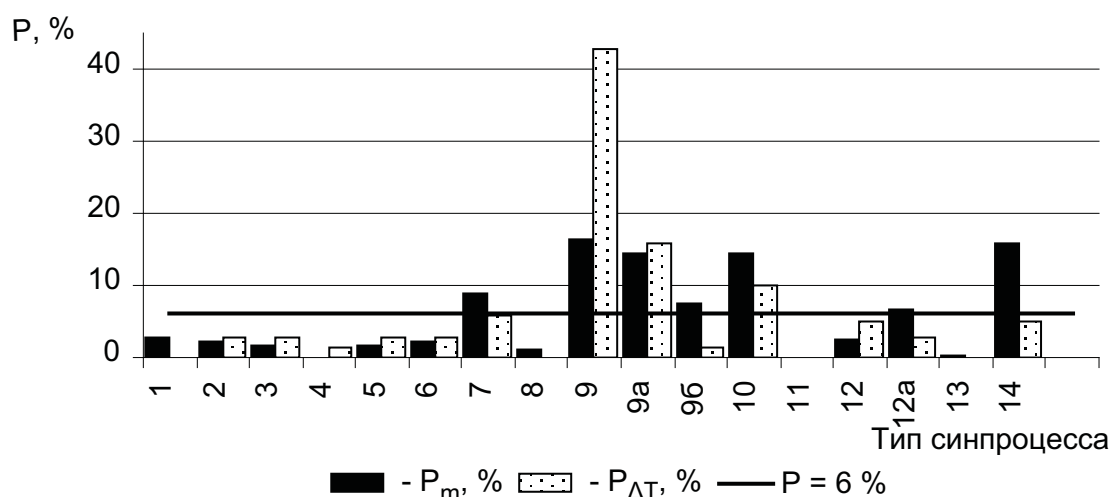


Рис. 2.15. Гистограмма повторяемости типов синоптических процессов –  $P_m$   
и условной повторяемости  $\Delta T_{\text{крит}}$ , равной  $P_{\Delta T}$

Видно, что  $\Delta T_{\text{крит}}$  наблюдаются только при 13 (из 17) типах синоптических процессов. Условно примем, что типы, имеющие повторяемость более 6% ( $100\% : 7 \approx 6\%$ ), будут преобладающими. Таких преобладающих, по проявлению фенового эффекта, типов только три: тип 9 (юго-западная периферия антициклона), на который приходится  $P_{\Delta T} \approx 43\%$ , тип 9а (южная периферия антициклона) и тип 10 (западное вторжение) с  $P_{\Delta T}$  соответственно равной 15,7 и 10% (вместе они дают  $P_{\Delta T} \approx 69\%$ ). Наиболее часто зимой наблюдается тип 9 (16,3 %), типы 9а и 10 наблюдаются в 14,4% случаев.

На оставшиеся 14 типов приходится  $P_{\Delta T} \approx 31\%$ , причем при четырех из них повышения температуры не наблюдалось вообще. Это типы: 1 (южнокаспийский циклон), 8 (малоподвижный циклон), 11 (термическая депрессия) и 13 (центральная часть антициклона), в зимний период они имеют повторяемость менее 3% или не наблюдаются.

Типы 12а и 14 дали повторяемость  $P_{\Delta T} = 4,9\%$ , а типы 2, 3, 5, 6 и 12 – по 2,9 %, типы 4 и 9б сопровождалась  $\Delta T_{\text{крит}}$  всего в 1,4 % случаев.

Следовательно, из семи преобладающих в зимний период типов, для которых  $P_m \geq 6\%$  (типы 7, 9, 9а, 9б, 10, 12а, и 14), наблюдающихся в 84% случаев, на три типа (типы 9, 9а, 10) приходится повторяемость  $\Delta T_{\text{крит}}$  в 69%, т.е. в зимний период эти типы в двух случаях из трех сопровождаются повышениями температуры в  $2^\circ\text{C}$  и выше.

Таким образом, повышения температуры фенового характера наиболее часто наблюдаются зимой в декабре при юго-западной периферии антициклона (тип 9), а также при типах 9а и 10. Они захватывают верхнюю восточную часть Чуйской долины (МС «Токмак» и восточнее), где выражены наиболее сильно и ослаблены по температурному проявлению западнее Токмака.

### **3. АЭРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ВЕТРА В ПГС НАД ЧУЙСКОЙ ДОЛИНОЙ**

Знание режима ветра в пограничном слое атмосферы над днищами Чуйской и Таласской долин имеют очень большое как научное, так и практическое значение. Эти долины – типичные крупные периферийные котловины горных районов Центральной Азии и многие аэроклиматические закономерности, полученные для них, могут быть с успехом перенесены на другие котловины. В то же время знание их аэроклиматологии будет служить основой для решения многих вопросов метеорологического обслуживания хозяйственной деятельности в ССЗК и, прежде всего, полетов авиации.

В п. 2.5 уже были рассмотрены некоторые особенности режима ветра в нижней тропосфере над Чуйской долиной по данным аэрологической станции «Фрунзе». Однако освещение режима ветра в ПГС может быть существенно расширено по структуре решаемых вопросов и детализировано на основе анализа шаропилотных ветровых зондирований, проводившихся в аэропорту «Манас», расположенном в центральной части Чуйской долины, в период 1981–1991 гг. Использование этих данных впервые дало возможность определить широкий спектр аэроклиматических характеристик ветра в нижнем 900-метровом слое: средние скорости, направления, зональные и меридиональные составляющие, результирующий ветер, вертикальный сдвиг ветра. Анализ их статистических распределений позволил получить новые научные результаты по аэроклиматическим режимам ветра в ССЗК.

В настоящем разделе мы рассмотрим режим аэроклиматических характеристик ветра в пограничном слое Чуйской долины, кроме вертикальных сдвигов ветра, исследованию которых, ввиду их особой важности для авиации, посвящен раздел 4.

### 3.1. Исходный материал шаропилотных наблюдений, его первичная систематизация и обработка

В качестве исходного материала для аэроклиматического анализа режима ветра и вертикальных сдвигов ветра (см. раздел 4) в пограничном слое атмосферы над Чуйской долиной использованы анемометрические наблюдения на мачте (высота 10 м), диспетчерской вышке (высота 30 м) и шаропилотные измерения ветра до высот 900 м, которые в течение 11 лет (1981–1991 гг.) проводились авиаметцентром аэропорта «Манас», расположенном в 30 км севернее г. Бишкек в осевой зоне долины. На рис. 3.1 приведено схематическое расположение анемометров и места выпуска шаропилотов относительно взлетно-посадочной полосы аэропорта «Манас».



Рис. 3.1. Схематическое расположение анемометров и места выпуска шаропилотов относительно ВПП аэропорта «Манас»

Нами использовано 11123 шаропилотных зондирований до высот 900 м за 5 лет (1984, 1987, 1988, 1990 и 1991 гг.), когда выпуски шаропилотов велись ежедневно от 3 до 8 раз в сутки, что определялось погодными условиями. Значения характеристик ветра по шаропилотам взяты для стандартных высот над поверхностью земли: 40, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 900 м. Дополнительно к ним использовались одновременные измерения ветра по анемометрам типа М-47 на высоте 10 м (мачта) и 30 м (диспетчерская вышка).

Таким образом, всего в пределах 900-метрового слоя использованы измерения на 11 высотах (10, 30, 40, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 900 м), что впервые позволило детально исследовать аэроклиматические характеристики ветра в пограничном слое атмосферы этого региона.

Весь полученный массив значений скорости и направления ветра дифференцировался для каждого выпуска шаропилотов на выборки по четырем сезонам года (зима, весна, лето и осень) и четырем периодам суток (утро, день, вечер и ночь). При этом объем сезонных выборок  $n$  составлял 1973–3352 наблюдений, а объем выборок для различных частей суток по сезонам колебался от 258 до 1656 наблюдений (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Объем сезонных выборок для аэропорта «Манас»

	Утро	День	Вечер	Ночь	Сезон
Зима	258	683	360	672	1973
Весна	378	1233	407	729	2747
Лето	453	1656	438	805	3352
Осень	403	1072	417	1159	3051
				Итого	11123

Время начала – конца каждого периода суток по местному декретному времени (МЕДВ) условно нами определялось так: ночь – период от 1 ч «после захода» до 1 ч «до



восхода»; утро – период от 1 ч «до восхода» до 2 ч «после восхода»; день – период от 2 ч «после восхода» до 2 ч «до захода»; вечер – период от 2 ч «до захода» до 1 ч «после захода». В табл. 3.2 приведено время (МЕДВ и МОДВ – московское декретное время) начала и конца сроков для центрального месяца каждого из сезонов, которое изменяется по месяцам внутри сезонов не более чем в пределах  $\pm 0,5$  ч.

Таблица 3.2

Время суток (ночь, утро, день, вечер) центрального месяца сезона по различным исчислениям времени для аэропорта «Манас»

Сезон	Время	Ночь	Утро	День	Вечер
Зима	МЕДВ	$19^{00} - 7^{30}$	$7^{30} - 10^{30}$	$10^{30} - 16^{00}$	$16^{00} - 19^{00}$
	МОДВ	$16^{00} - 4^{30}$	$4^{30} - 7^{30}$	$7^{30} - 13^{00}$	$13^{00} - 16^{00}$
Весна	МЕДВ	$22^{00} - 6^{30}$	$6^{30} - 9^{30}$	$9^{30} - 19^{00}$	$19^{00} - 22^{00}$
	МОДВ	$19^{00} - 3^{30}$	$3^{30} - 6^{30}$	$6^{30} - 16^{00}$	$16^{00} - 19^{00}$
Лето	МЕДВ	$23^{30} - 5^{30}$	$5^{30} - 8^{30}$	$8^{30} - 19^{30}$	$19^{30} - 22^{30}$
	МОДВ	$10^{30} - 2^{30}$	$2^{30} - 5^{30}$	$5^{30} - 16^{30}$	$16^{30} - 19^{30}$
Осень	МЕДВ	$20^{30} - 7^{00}$	$7^{00} - 10^{00}$	$10^{00} - 17^{30}$	$17^{30} - 20^{30}$
	МОДВ	$17^{30} - 4^{00}$	$4^{00} - 7^{00}$	$7^{00} - 14^{30}$	$14^{30} - 17^{30}$

Конкретный набор данных производился в программе Excel [67] следующим образом. Для каждого года создавался отдельный документ, который включал четыре листа (утро, день, вечер и ночь), куда заносились данные анемометрических и шаропилотных наблюдений (рис. 3.2). Для каждого выпуска шаропилота фиксировалось: дата и время (МОДВ) выпуска, облачность при выпуске (форма и количество), скорость и направление ветра на высотах 10 (анемометр), 30 (анемометр), 40, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 900 м.

Найденные посезонно промежуточные выборки для каждого года и каждого из четырех сроков затем были объединены в 16 окончательных выборок высотных профилей ветра для пяти использованных лет (1984, 1987, 1988, 1990, 1991 гг.), соответствующих четырем сезонам года (зима, весна, лето и осень) и четырем периодам суток (утро, день, вечер и ночь). Эти данные затем подвергались статистической обработке и анализу в соответствии с задачами исследований, результаты которых излагаются ниже.

В настоящем разделе, который посвящен аэроклиматической характеристике режима ветра в ПГС, исследовались высотные профили следующих аэроклиматических характеристик ветра: 1) модуль скорости ( $V$ ); 2) повторяемость его направлений; 3) зональные ( $V_x$ ) и меридиональные ( $V_y$ ) составляющие вектора ветра; 4) результирующий ветер ( $V_p$ ) и его направления ( $\alpha$ ).

Для модуля скорости ( $V$ ), зональных ( $V_x$ ) и меридиональных ( $V_y$ ) составляющих, а также результирующего ветра ( $V_p$ ) были рассчитаны следующие статистики их эмпирических распределений: среднее значение, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса, среднее из годовых максимумов и абсолютное максимальное по выборке значение. Именно на этих статистиках основывался аэроклиматический анализ режима ветра, как это общепринято [7, 45, 46, 65, 66].

При вычислении зональных ( $V_x$ ) и меридиональных ( $V_y$ ) составляющих за положительное направление оси  $x$  принималось направление касательной к кругу широты с запада на восток, а за положительное направление по оси  $y$  – касательной к меридиану с юга на север. Методика вычисления  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_p$  и  $\alpha$  более детально описана ниже – в п. 3.5 и 4.2.

Повторяемость модуля скорости ветра вычислялась обычным способом также по программе Excel (программа – частота).

Microsoft Excel - 1991 лето							
Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка							
O35 fx							
	A	B	C	D	E	F	G
3	Год	1991	Выборка: облачность до подъема шаропилота				
4	Дата		1/6	3/6	4/6	5/6	7/6
5	Время	МОДВ	04-50	04-50	04-40	04-45	04-45
6	Облачн.	общ/неижн	0/0	0/0	7/0	2/0	10/5
7	до подъем	форма			Ac, Ci	Ci	Ac, Cb
8	Высота, м		Выборка скорости и направления ветра				
9	10 (мачта)	Напр.	100	110	120	120	220
10		Скор	2	6	5	4	2
11	30 (вышка)	Напр.	90	110	90	110	220
12		Скор	3	6	5	5	2
13	40	Напр.	160	123	108	127	216
14		Скор	4	6	6	5	2
15	100	Напр.	172	121	103	123	222
16		Скор	7	6	6	8	2
17	200	Напр.	179	121	103	123	246
18		Скор	9	6	5	6	2
19	300	Напр.	176	122	89	142	258
20		Скор	10	7	4	3	2
21	400	Напр.	168	122	192	135	262
22		Скор	6	4	2	3	2
23	500	Напр.	160	124	251	139	258
24		Скор	3	5	4	3	2
25	600	Напр.	158	122	245	139	265
26		Скор	6	5	6	2	3
27	700	Напр.	***	117	***	***	***
28		Скор	***	4	***	***	***
29	900	Напр.	156	***	247	134	***
30		Скор	5	***	6	2	***
31	*** - нет данных						

Рис. 3.2. Фрагмент формирования промежуточной выборки исходных данных для утреннего срока (лето, 1991 г.) с использованием программы Excel

Следует отметить, что большой объем исходных выборок (табл. 3.1) позволил получить надежные оценки статистик  $\bar{x}$ ,  $\sigma(x)$  и  $C(x)$ , которые основаны на первых двух статистических моментах. Во многих случаях получены также достаточно надежные оценки  $A(x)$  и  $E(x)$ .

### 3.2. Повторяемость направлений и скорость ветра у земной поверхности

При рассмотрении общих характеристик режима ветра в ССЗК в разделах 1 и 2 нами было выяснено, что имеет место следующая специфика местных ветровых условий: 1) хорошо развитая склоновая (СГДЦ) и горно-долинная циркуляция (ГДЦ); 2) малые среднегодовые и среднемесячные приземные скорости ветра (1–3 м/с); 3) большая повторяемость затиший (до 25–40%). Эти результаты могут быть существенно дополнены и уточнены для осевой зоны долины по данным наблюдений АМЦ «Манас», приведен-

ными в его климатическом описании [62] и по нашей специальной выборке за 5 лет, рассмотренной в п. 3.1.

В работе [62] по данным приземных наблюдений (мачта 10 м) для года в целом и по месяцам рассмотрены характеристики ветра: повторяемость направлений по 12 румбам, средние скорости и штили, а также повторяемости отдельных направлений ветра по градациям скорости. Основные полученные результаты по [62] приведены в табл. 3.3 и 3.4 и на рис. 3.3 и 3.4.

Видно (табл. 3.3, 3.4 и рис. 3.3, 3.4), что во все периоды года в целом для суток в режиме направлений ветра в районе аэропорта «Манас» можно выделить две группы преобладающих направлений: 1-я группа – восточных (от СВВ до ЮВЮ) направлений, повторяемость которых в сумме составляет около 35–40%; 2-я группа – западных (от ЗСЗ до ЮЗЗ) направлений с суммарной повторяемостью около 22–26%. Повторяемость остальных румбов составляет 2–7% каждого. Две группы преобладающих направлений обуславливаются развитием ГДЦ, СГДЦ и ветрами ОЦА.

Таблица 3.3

Повторяемость направлений ветра (%) для различных периодов года  
для района аэропорта «Манас» [62]

	С	ССВ	СВВ	В	ВЮВ	ЮВЮ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗЗ	З	ЗСЗ	СЗС
Зима	2,9	3,6	6,5	12,4	16,5	10,7	6,1	4,9	6,7	8,8	6,5	4,3
Весна	3,7	6,2	10,5	12,2	13,0	7,9	4,7	4,9	7,4	10,0	8,7	6,5
Лето	3,1	3,8	6,1	10,1	16,6	11,6	6,9	7,9	9,5	7,5	8,0	6,0
Осень	3,2	3,6	6,4	9,3	12,7	10,9	7,6	6,5	7,7	9,1	9,1	6,6

Таблица 3.4

Средняя месячная и годовая скорости ветра и повторяемость штилей  
для района аэропорта «Манас» [62]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Скорость (м/с)												
2,7	2,6	2,8	3,6	3,5	3,4	3,4	3,1	3,0	2,6	2,4	2,5	3,0
Штиль (%)												
11,3	8,1	5,8	3,7	3,2	2,9	2,3	3,9	4,7	7,2	10,0	11,3	6,2

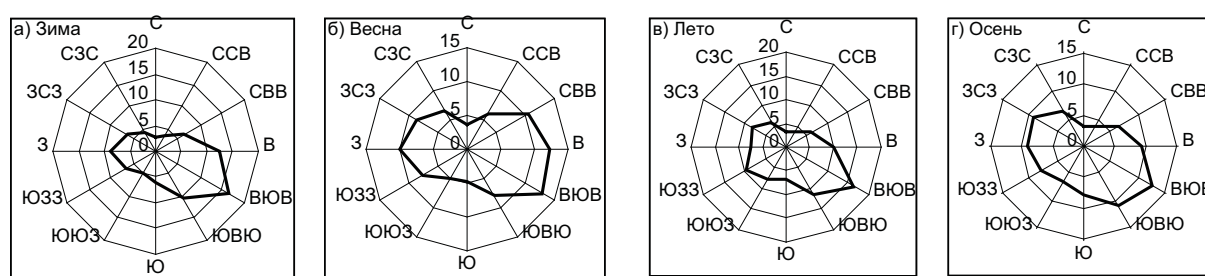


Рис. 3.3. Розы направлений ветра (%) в различное время года для района аэропорта «Манас» [62]

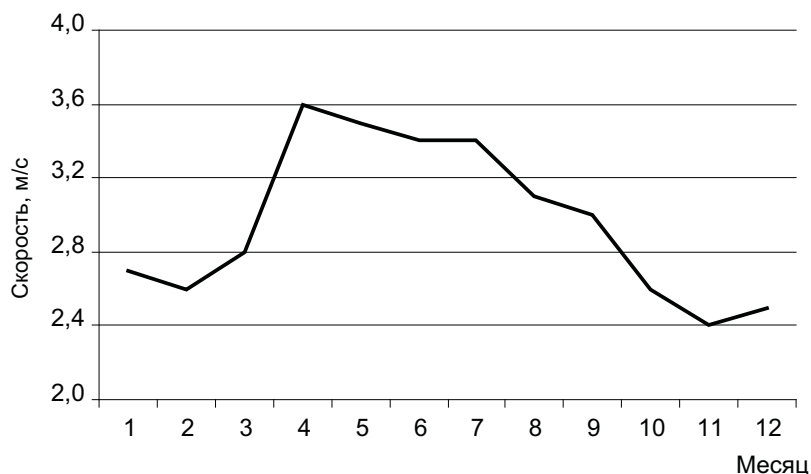


Рис. 3.4. Годовой ход средней скорости ветра для района аэропорта «Манас» [62]

В годовом ходе средней скорости ветра наблюдается небольшое ее увеличение в весенне-летний период года до 3,6 м/с и уменьшение в осенне-зимний до 2,4 м/с. Повторяемость штилей в районе аэропорта «Манас» составляет всего 2–12%. Все это объясняется как большой открытостью пункта наблюдений, так и относительно высокой чувствительностью анеморумбометров, по которым велись наблюдения.

Эти результаты можно расширить и уточнить, используя нашу выборку (п. 3.1). Для этого были рассчитаны повторяемости направлений ветра (по 8 румбам), повторяемость штилей и основные статистики модуля скорости [51, 108]: среднее значение –  $\bar{V}$ , коэффициенты вариации –  $C(V)$ , асимметрии –  $A(V)$  и эксцесса –  $E(V)$ , а также среднее из годовых максимумов  $\bar{V}_m$  и абсолютные максимальные по выборке значения  $V_m$ . Большой объем выборок  $n$ , составляющий от 1973 до 3352 для различных сезонов и от 258 до 1656 для различного времени суток, обеспечил высокую практическую надежность статистических расчетов и результатов исследований.

**Статистики средних скоростей ветра.** В табл. 3.5 приведены полученные статистики  $\bar{V}$ ,  $C(V)$ ,  $A(V)$ ,  $E(V)$ ,  $\bar{V}_m$  и  $V_m$ , а также повторяемости штилей.

Данные табл. 3.5 дают развернутую картину изменения статистических характеристик приземного ветра по сезонам и времени суток. В районе совершенно открытой территории ВПП средние скорости ветра равны 2,3–3,5 м/с, с небольшим их увеличением в весенне-летний период года до 3,4 м/с и уменьшением зимой до 2,4 м/с. Суточный ход скорости ветра выражен слабо, скорости колеблются в пределах  $\pm 0,8$  м/с. При этом, минимальные скорости ветра приходятся на утро (весна – 2,6 м/с, лето – 2,9 м/с, осень – 2,3 м/с), а максимальные – на день (лето – 3,4 м/с, осень – 2,7 м/с) или вечер (весна и лето – 3,4 м/с, осень – 2,7 м/с). Исключением является зима, где наблюдается противоположное распределение: максимум – утром (2,7 м/с) и минимум – ночью (2,4 м/с).

Найденная повторяемость штилей в районе аэропорта «Манас» также, как и в [62], составляет всего 2–12%. При этом наименьшая их повторяемость наблюдается вечером в любой период года, а наибольшая зимой – ночью, весной и летом – утром, а осенью – днем.

Статистическое распределение модуля скорости (табл. 3.5) здесь во все сезоны года и время суток сильно правоасимметрично ( $A(V) > 0,8$ –1,3), островершинно ( $E(V) > 0,8$ –3,6) и не может быть описано нормальным законом. Одновременно с этим, изменчивость скорости относительно своих средних значений  $\bar{V}$  также велика, коэффициенты вариации  $C(V) = 0,6 \dots, 0,8$ . Это свидетельствует о том, что функция плотности вероятностей

$f(V)$  имеет длинную правую ветвь, сначала резко спадающую с оси  $x$ , а затем медленно сближающуюся с ней. В результате в отдельных случаях индивидуальные  $V_i$  могут существенно превышать средние значения  $\bar{V}$ .

Таблица 3.5

Статистические характеристики скорости ветра и повторяемость штилей у земной поверхности в районе ВПП аэропорта «Манас» (за 5 лет)

Сезон		Зима ( $n = 1973$ )				Весна ( $n = 2747$ )			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Статистики скорости	$\bar{V}$ , м/с	2,66	2,59	2,52	2,35	2,63	3,23	3,42	2,71
	$C(V)$	0,75	0,73	0,70	0,73	0,69	0,67	0,58	0,61
	$A(V)$	1,12	0,95	1,08	1,00	0,99	1,19	0,82	0,94
	$E(V)$	1,84	0,99	1,70	1,34	1,65	2,15	0,75	2,24
	$\bar{V}_m$ , м/с	9	9	8	8	8	12	9	8
	$V_m$ , м/с	11	10	9	9	11	14	11	10
Штиль, %		11,2	11,9	10,4	12,7	10,0	6,5	4,2	8,0
Сезон		Лето ( $n = 3352$ )				Осень ( $n = 3051$ )			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Статистики скорости	$\bar{V}$ , м/с	2,89	3,35	3,43	3,38	2,34	2,65	2,65	2,64
	$C(V)$	0,58	0,62	0,53	0,52	0,69	0,71	0,63	0,68
	$A(V)$	0,79	0,84	0,98	0,90	1,26	1,34	1,04	1,15
	$E(V)$	1,21	0,81	1,40	1,66	2,62	3,58	2,36	2,23
	$\bar{V}_m$ , м/с	8	10	9	10	8	11	8	9
	$V_m$ , м/с	10	12	12	12	10	15	11	11
Штиль, %		5,7	5,7	1,8	3,1	8,7	10,0	8,2	9,5

Средние из сезонных максимумов скоростей ветра  $\bar{V}_m$  достигают 8–12 м/с, а абсолютные максимальные скорости  $V_m$  – 9–15 м/с (табл. 3.5). Их годовой ход совпадает с ходом средних скоростей. В суточном ходе наибольшие значения  $\bar{V}_m$  и  $V_m$  приходятся на дневные часы во все периоды года, а летом еще и на ночные.

**Повторяемость направлений ветра.** В табл. 3.6 приведена полученная нами повторяемость различных направлений ветра, а на рис. 3.5 показаны их розы в различные периоды года и время суток. Как и для модуля скорости, эти данные позволяют уточнить режим направлений в суточном плане.

**Зима.** В течение суток геометрия роз значительно меняется (см. табл. 3.6 и рис. 3.5, а). Утром у ЗП наибольшую повторяемость имеют ветры 1-й группы – ЮВ (38,5%) и смежных с ним направлений (В – 16,9% и Ю – 17,7%), которые в сумме дают повторяемость 70,4%. Примерно такая же картина характерна и для ночи, когда повторяемость ветров 1-й группы равна 61% (ЮВ румб – 25%, В румб – 19% и Ю румб – 17%). Это типичные направления гравитационного стока и горных составляющих ГДЦ и СГДЦ, хорошо развитых как в это время года, так и в это время суток. Остальные направления ветра – С, СВ, ЮЗ, З, СЗ – имеют повторяемость ниже средней (12,5%), исключение – ночь, когда ЮЗ румб наблюдается примерно в 15% случаев. Роза направлений ветра имеет утром, днем и ночью характерный выдвинутый лепесток на ЮВ. Днем повторяемость ветров 1-й группы по сравнению с утром снижается до 45% (В румб – 24%, ЮВ румб – 21%), увеличивается повторяемость ветров 2-й группы – З (14,7%) и СЗ (12,7%), дающих в

сумме до 27%. С, СВ, Ю, ЮЗ направления ветра наблюдаются менее чем в 12,5% случаев каждый. Вечером, когда наиболее развита долинная составляющая ГДЦ с наложением на нее ветров ОЦА, наибольшую повторяемость имеет 2-я группа направлений ветра – 3 и СЗ румбы – с суммарной повторяемостью 45,5%. Остальные направления ветра – С, СВ, ЮВ, Ю, ЮЗ – имеют повторяемость ниже средней (12,5%), за исключением В румба (14%).

Таблица 3.6

Повторяемость различных направлений ветра (%) у земной поверхности  
в районе ВПП аэропорта «Манас»

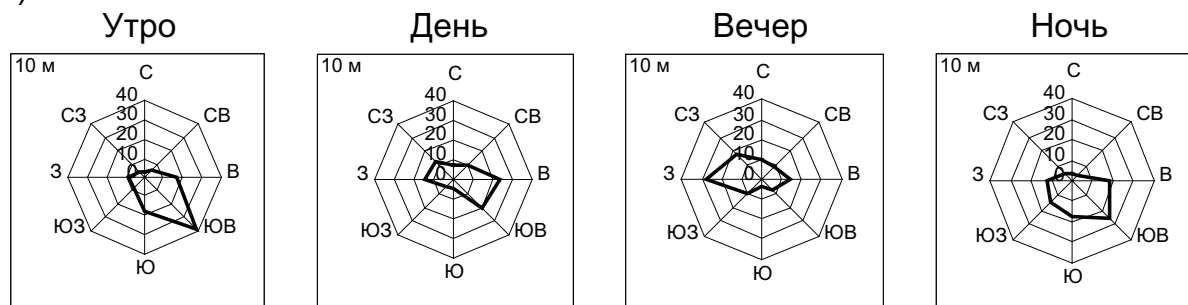
Сезон	Время суток	Повторяемость							
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Зима	Утро	2,6	4,8	16,9	38,5	17,7	7,4	8,2	3,9
	День	7,4	10,0	24,1	20,8	4,6	5,8	14,7	12,7
	Вечер	10,1	8,6	14,1	7,3	4,0	10,4	27,5	18,0
	Ночь	3,5	3,8	18,6	25,2	17,1	14,8	12,6	4,5
Весна	Утро	3,5	9,6	27,8	22,2	13,5	6,4	11,4	5,6
	День	13,8	15,9	11,9	10,4	5,9	6,1	20,3	15,6
	Вечер	8,7	23,8	8,2	5,9	9,2	10,0	16,2	17,9
	Ночь	4,2	14,5	24,2	20,2	14,4	9,1	9,6	3,9
Лето	Утро	1,4	5,2	21,8	38,6	18,0	7,7	5,9	1,4
	День	10,8	11,7	12,3	12,6	8,4	10,9	18,8	14,6
	Вечер	3,7	16,4	10,0	9,5	15,5	21,3	14,6	9,0
	Ночь	1,5	9,3	25,8	31,7	17,1	7,7	4,7	2,0
Осень	Утро	2,7	4,1	19,8	28,3	23,9	10,3	9,2	1,6
	День	10,6	10,2	13,4	8,8	5,1	7,2	21,9	22,7
	Вечер	11,2	11,2	6,0	7,6	15,4	9,9	17,8	20,9
	Ночь	1,3	7,5	17,1	28,3	23,6	10,3	8,2	3,7

*Весна.* Весной геометрия роз тоже существенно меняется в течение суток. Утром, как и зимой, выделяется 1-я группа направлений – В и ЮВ румбы с суммарной повторяемостью утром 50% (табл. 3.6 и рис. 3.5, б). Повторяемость выше средней (т.е. 12,5%) имеет Ю ветер (около 14%), остальные румбы (С, СВ, ЮЗ, З, СЗ) имеют повторяемость ниже средней – 3,5–11,4%. Днем наблюдается преобладание 2-й группы направлений ветра (З и СЗ румбы) – 36% случаев. Ветры С и СВ румбов наблюдаются в 14 и 16% случаев, а повторяемость остальных направлений (В, ЮВ, Ю и ЮЗ румбы) ниже средней. Вечером повторяемость 2-й группы (З и СЗ румбы) несколько снижается (до 34%), увеличивается повторяемость СВ румба до 23,8%. Ночью, как и зимой, преобладают ветры 1-й группы (В румб – 24%, ЮВ румб – 20%) – 44,4%, повторяемость около 14,5 % имеет Ю и СВ направления.

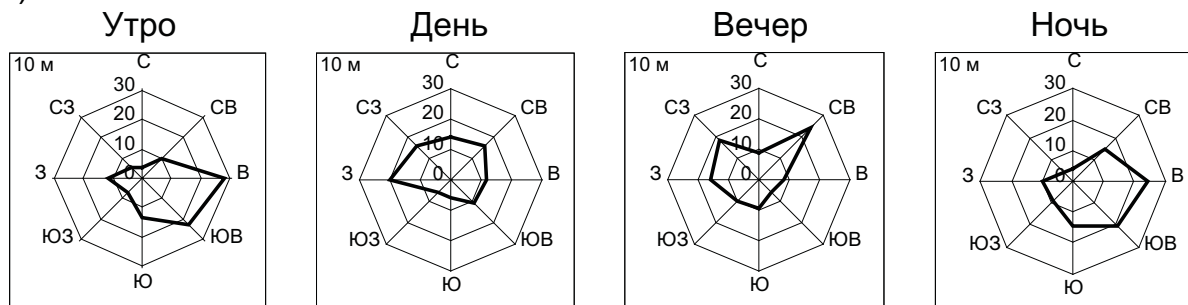
*Лето.* Летом рисунок роз в разное время суток существенно различен. Ночью и утром (табл. 3.6 и рис. 3.5, в) розы направлений ветра имеют характерный выдвинутый лепесток на ЮВ. Так, ЮВ и смежные с ним направления в сумме дают 78% (В румб – 22%, ЮВ румб – 39% и Ю румб – 18%) и 75% (В румб – 26%, ЮВ румб – 32% и Ю румб – 17%) соответственно. Повторяемость остальных направлений (С, СВ, ЮЗ, З, СЗ) не превышает 12,5%. Днем повторяемость 2-й группы направлений ветра (З румб – 18,8%, СЗ румб – 14,6 %) наибольшая – 33,4%, а остальные румбы (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ) наблюдаются менее чем в 12,5% случаев. Вечером преобладает ЮЗ направление ветра (21,3%) и смежные с ним Ю, З румбы (по 15–16%), они в сумме составляют 51,4%. Кроме этого, СВ румб имеет повторяемость 16,4%. Роза направлений ветра имеет характерный выдви-



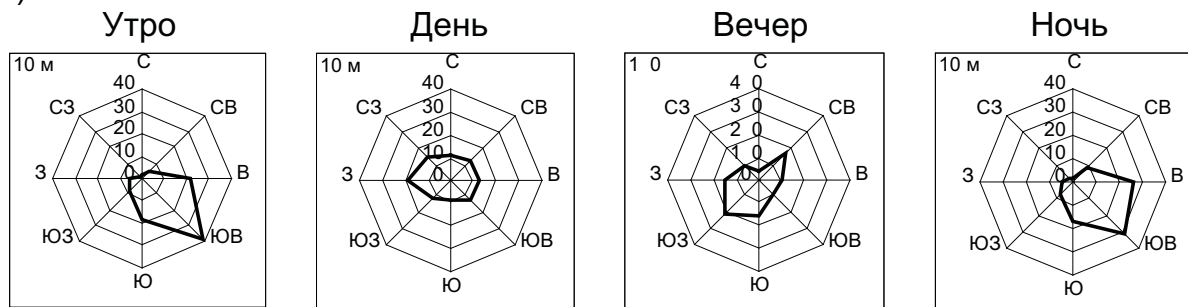
а) Зима



б) Весна



в) Лето



г) Осень

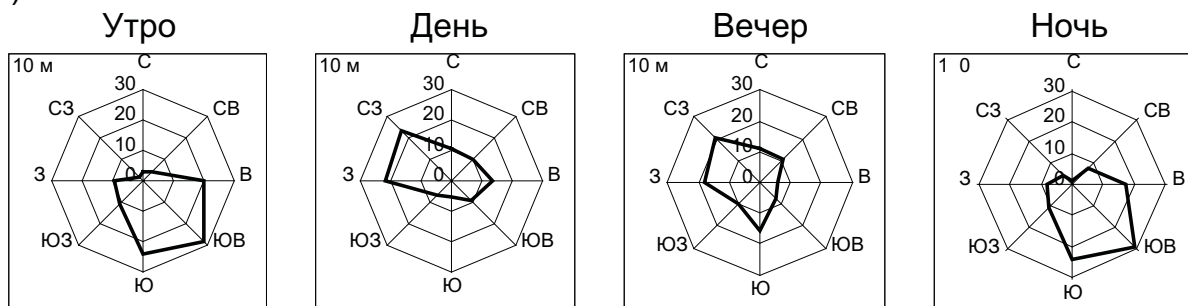


Рис. 3.5. Розы направлений ветра (%) у земной поверхности в различные периоды года и время суток в районе ВПП аэропорта «Манас» (10 м – земная поверхность)

нутый лепесток на ЮЗ и менее выраженный на СВ. Остальные направления ветра С, В, ЮВ, СЗ имеют повторяемость ниже средней (12,5%).

*Осень.* По изменению роз в течение суток осень не явилась исключением. Утром (табл. 3.6 и рис. 3.5, *г*) максимальную повторяемость имеют ветры ЮВ (28%), Ю (24%) и В (20%) направлений – сумма 72%. Повторяемость остальных румбов (СЗ, С, СВ, З, ЮЗ) ниже средней, а в сумме составляет около 30%. В ночные часы преобладают ветры ЮВ (28,3%), Ю (23,6%) и В (17,1%) направлений (1-я группа – 69%), а повторяемость остальных румбов (СЗ, С, СВ, З, ЮЗ) ниже средней. Днем максимум повторяемости приходится на ветры З и СЗ направлений (сумма примерно 45 %). Повторяемость выше средней наблюдается у В ветра – 13%, остальные румбы (С, СВ, ЮВ, Ю и ЮЗ) регистрируются менее чем в 12,5% случаев. Вечером наибольшая повторяемость принадлежит, как и днем, ветрам 2-й группы (З и СЗ направления) – около 39%. Можно выделить Ю румб с повторяемостью 15,4%, по-видимому, это ветры горной составляющей СГДЦ. Повторяемость остальных С, СВ, ЮВ, В и ЮЗ румбов ниже средней.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии выраженной суточной периодичности направлений ветра в осевой части Чуйской долины, обусловленной развитием здесь ГДЦ. Склоновая ГДЦ выражена более слабо, заметно проявляясь только ночью в своей горной компоненте и гравитационным стоком. Суточный ход скорости выражен слабо. Максимальные сезонные скорости составляют 10–15 м/с.

### 3.3. Повторяемость направлений ветра на различных высотах ПГС

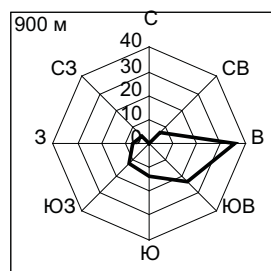
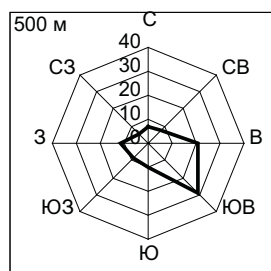
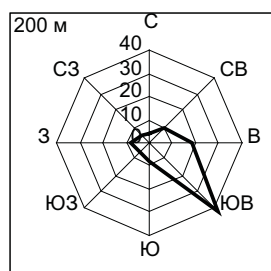
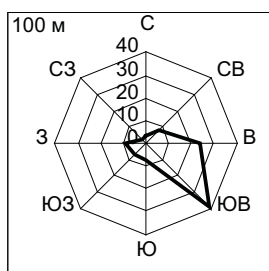
Рассмотрим теперь, как продолжение п. 3.2, распределение повторяемости направлений ветра в ПГС над ВПП аэропорта «Манас» по данным выборки п. 3.1. Эти повторяемости для высот 10, 30, 40, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 900 м приведены в прил. 5 для четырех периодов суток (утро, день, вечер, ночь) и четырех сезонов года (зима, весна, лето, осень). На рис. 3.6–3.9 показаны построенные по этим данным розы направлений для четырех высот: 100, 200, 500 и 900 м. Это позволяет наглядно увидеть картину направлений ветра в слое до 900 м в суточном разрезе по сезонам года.

Геометрия роз направлений ветра в слое до 900 м (рис. 3.6–3.9, прил. 5) меняется как в течение суток, так и с увеличением высоты. Однако при этом на всех высотах утром, днем, вечером и ночью сохраняется в главных чертах характерный контур розы, сформированного вблизи верхней границы приземного слоя на высоте 100 м. Это типично для всех сезонов года.

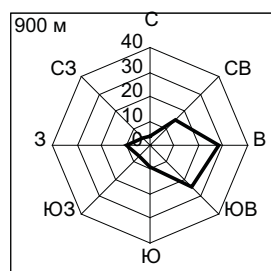
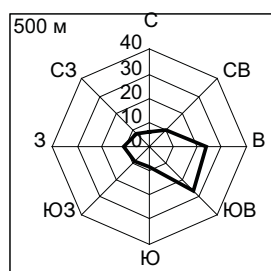
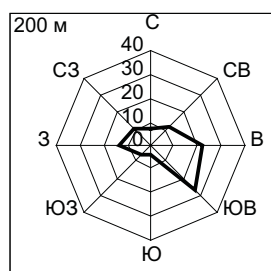
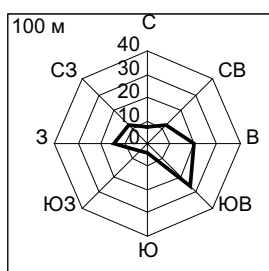
*Зима* (рис. 3.6, прил. 5). *Утро.* Роза направлений ветра на высоте 100 м имеет характерный выдвинутый лепесток на ЮВ (39,4%), при этом В румб наблюдается в 23,7% случаев. С высотой вплоть до 500 м геометрия роз меняется незначительно, есть слабая тенденция увеличения и последующего снижения ЮВ румба, увеличения повторяемости В направления ветра. На высоте 200 м ЮВ румб наблюдается в 42,3%, на высоте 500 м – в 29,4%, В румб на этих высотах – в 18,2 и 21% соответственно. Повторяемость остальных направлений (С, СВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ) на высотах 100–500 м не превышает 12,5% каждого. К высоте 900 м преобладающим становится В направление ветра – 35,6%, ЮВ румб наблюдается в 22% случаев, Ю – в 13,3% случаев. Остальные румбы на этой высоте отмечаются в 0–7% случаев.

*День.* На высоте 100 м выделяются два направления ветра – В и ЮВ, их повторяемость в сумме составляет 46,6%, с небольшим преобладанием ЮВ румба (26,6%). На высотах 200 и 500 м повторяемость этих румбов в сумме увеличивается примерно до 49%, а повторяемость выше средней (т.е. 12,5%) на высоте 200 м имеет еще и З румб – 13,4%.

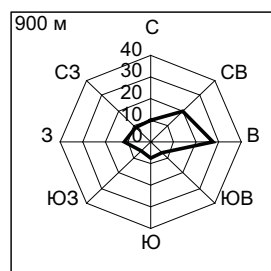
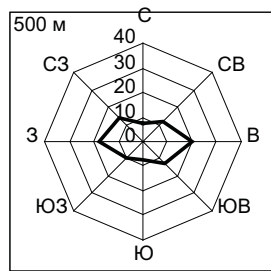
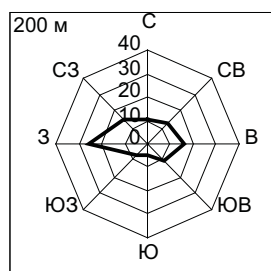
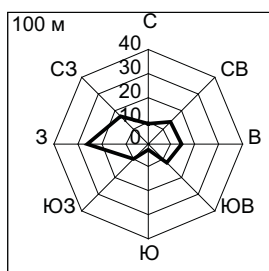
### а) Утро



### б) День



### в) Вечер



### г) Ночь

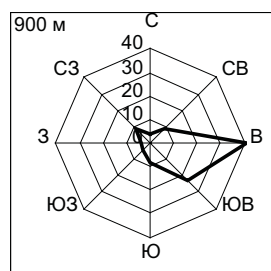
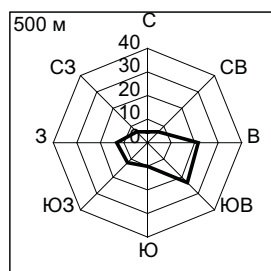
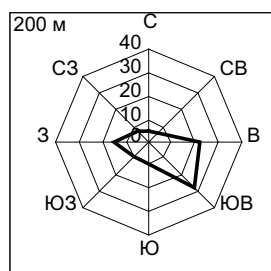
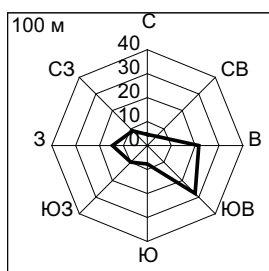
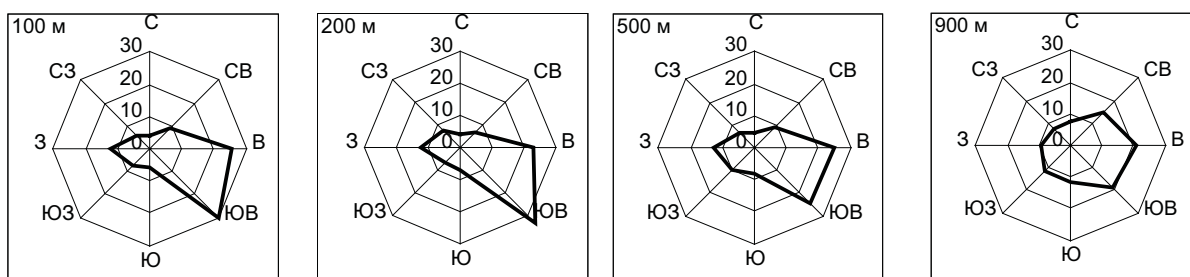
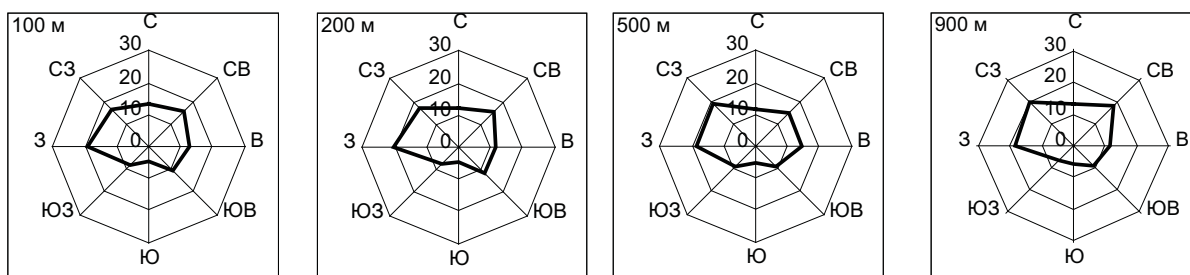


Рис. 3.6. Розы направлений ветра в зимний период года в различное время суток на высотах 100, 200, 500 и 900 м в районе ВПП аэропорта «Манас»

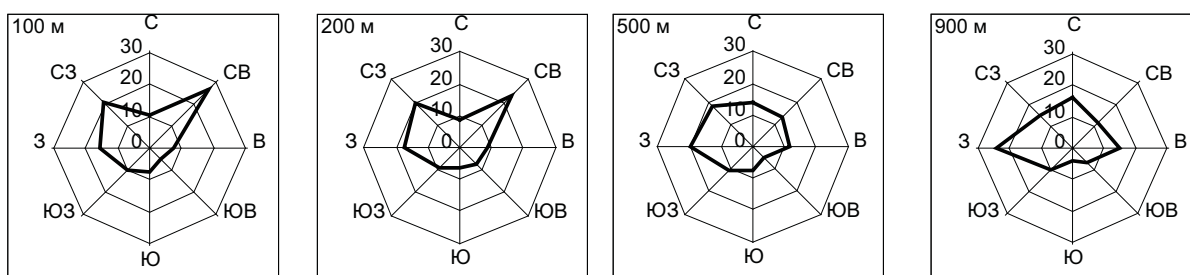
### а) Утро



### б) День



### в) Вечер



### г) Ночь

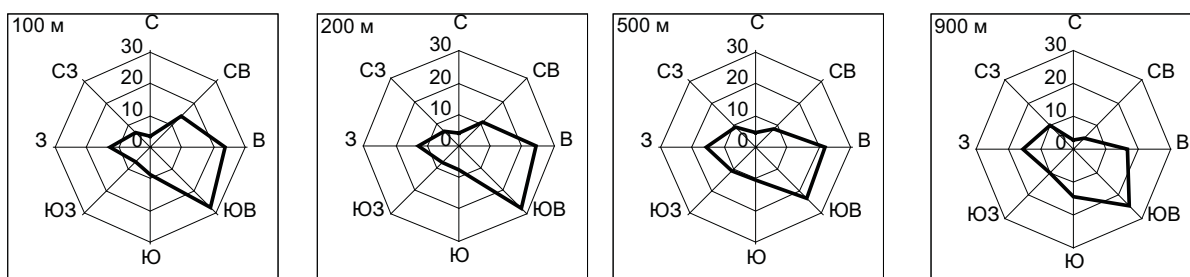
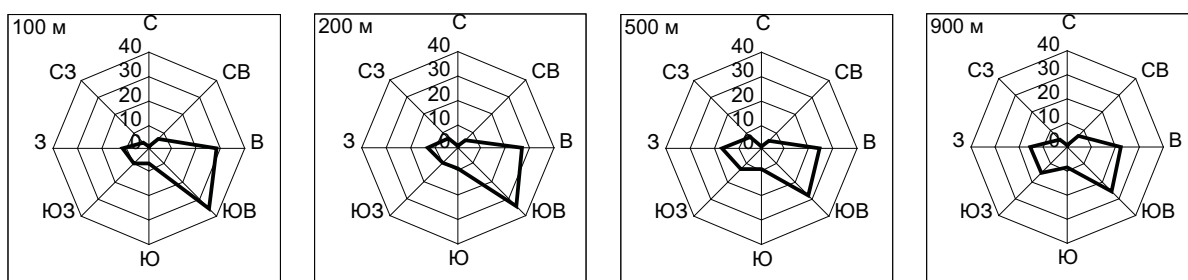
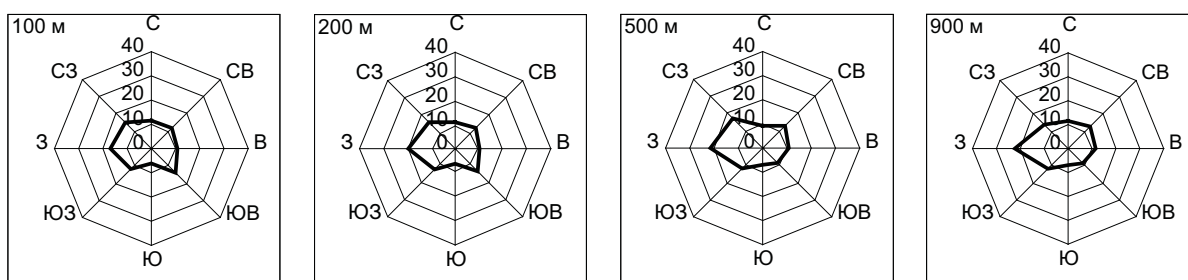


Рис. 3.7. Розы направлений ветра в весенний период года в различное время суток на высотах 100, 200, 500 и 900 м в районе ВПП аэропорта «Манас»

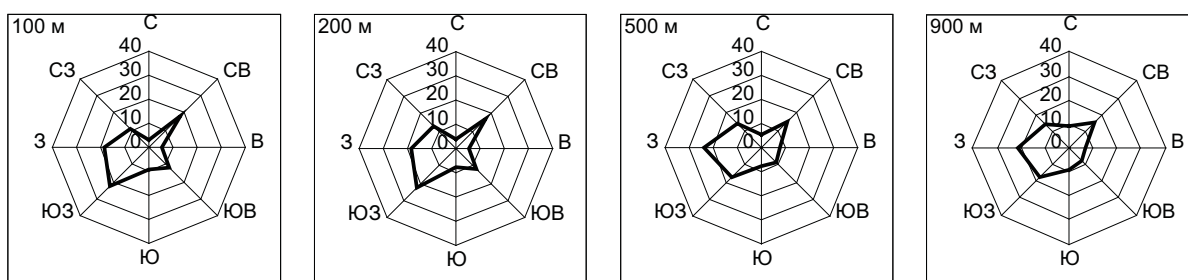
### а) Утро



### б) День



### в) Вечер



### г) Ночь

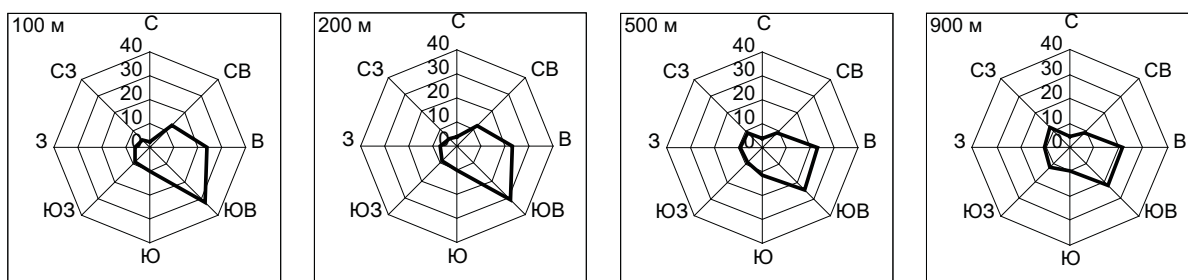
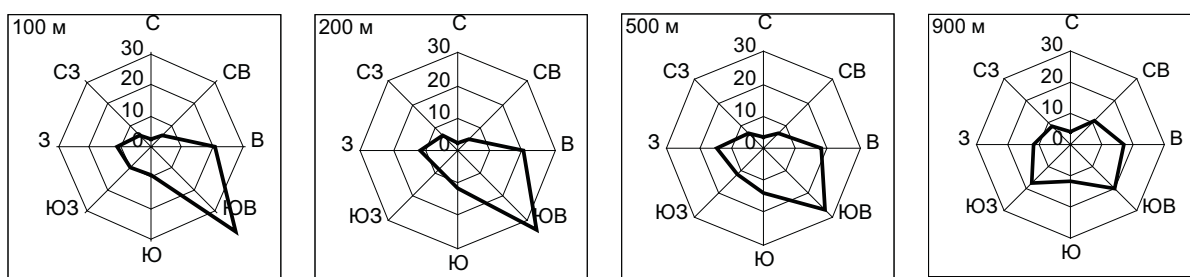
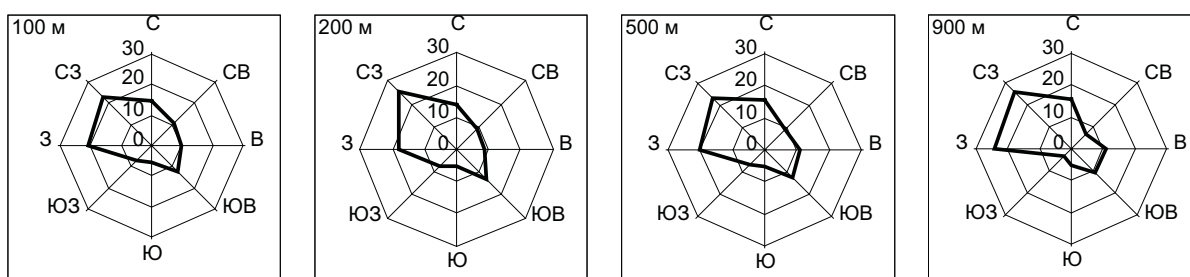


Рис. 3.8. Розы направлений ветра в летний период года в различное время суток на высотах 100, 200, 500 и 900 м в районе ВПП аэропорта «Манас»

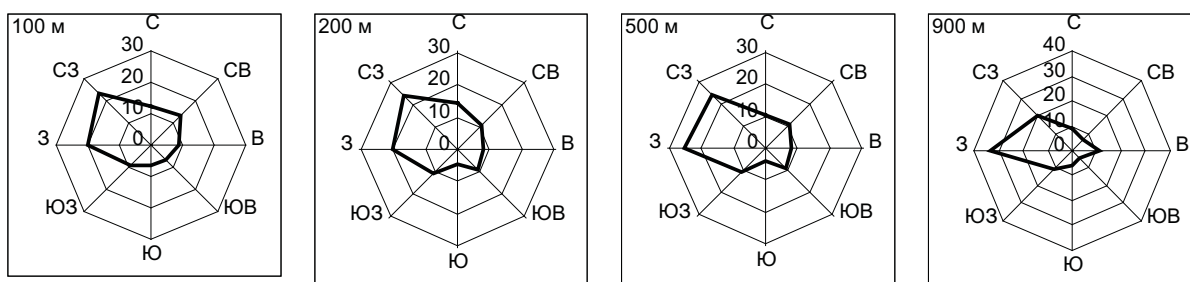
### а) Утро



### б) День



### в) Вечер



### г) Ночь

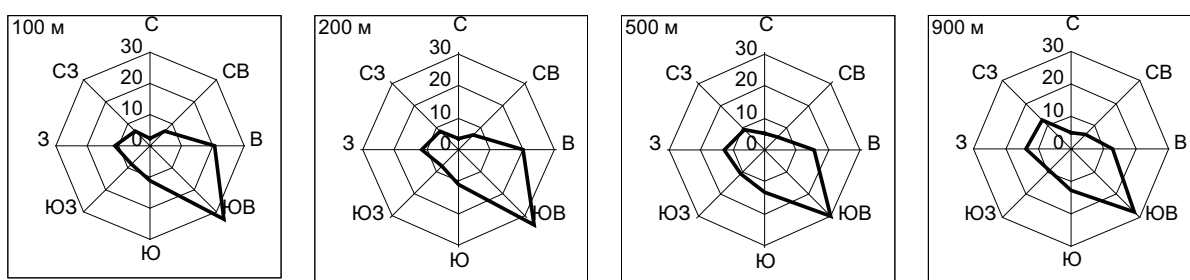


Рис. 3.9. Розы направлений ветра в осенний период года в различное время суток на высотах 100, 200, 500 и 900 м в районе ВПП аэропорта «Манас»



На 900 м В и ЮВ направления ветра в сумме наблюдаются уже в 52,2% (доминирует В румб – 27,8%), повторяемость выше средней в 14,8% имеет СВ румб. Остальные направления ветра на всех рассматриваемых высотах имеют повторяемость ниже средней, т.е. ниже 12,5%.

*Вечер.* Наибольшую повторяемость вечером на 100 м имеют две группы направлений: 1-я группа – СВ и В румбы, с суммарной повторяемостью 27%; 2-я группа – З и СЗ румбы, в сумме регистрируется в 42,2% случаев. С высотой повторяемость 1-й группы увеличивается, а 2-й группы, напротив, уменьшается. На высоте 200 м З и СЗ румбы наблюдаются уже в 40% случаев (преобладает З направление – 25,8%), а СВ и В румбы – также в 28% случаев. К высоте 500 м повторяемости обеих групп становятся равными 31%, в 1-й группе преобладает В направление ветра (около 20%), а во 2-й группе – З румб (17,5%). Остальные румбы (С, СВ, ЮВ, Ю, ЮЗ) наблюдаются менее чем в 12,5% случаев каждый. На высоте 900 м преобладающей становится 1-я группа направлений – СВ (19,6%) и В (27,5%) румбы, с суммарной повторяемостью 47%. С, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ направления ветра наблюдаются менее чем в 12,5% случаев каждый.

*Ночь.* На высотах от 100 до 900 м абсолютно преобладающими являются два направления ветра (В и ЮВ румбы) с суммарной повторяемостью, примерно равной 46–50% на высотах от 100 до 500 м, 63% – на 900 м. При этом ЮВ румб доминирует на высотах от 100 до 500 м (24–28%), но на высоте 900 м преобладающим становится В направление ветра (40,8%). Повторяемость выше средней на высотах 100–500 м имеет З румб (13–15%). Остальные направления ветра (С, СВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ) фиксируются в 4–8% случаев каждый.

*Весна.* Геометрия роз весной в ПГС меняется, как и зимой, в течение суток и с увеличением высоты, но сохраняется в общих чертах рисунок высоты 100 м (рис. 3.7, прил. 5).

*Утро.* На высоте 100 м можно выделить два направления ветра с большой повторяемостью – В (25,3%) и ЮВ (около 30%), которые в сумме составляют 55%. На высоте 200 и 500 м картина в целом сохраняется, т.е. наблюдается полное преобладание В и ЮВ направлений (в сумме 56 и 49,6% соответственно). При этом на высоте 200 м доля ЮВ ветров больше (около 33% случаев), тогда как на 500 м повторяемость В и ЮВ румбов одинакова – 24,8%. Доля З ветра на этих высотах находится в пределах 12–13%, а ветры С, СВ, Ю, ЮЗ, СЗ румбов имеют повторяемость каждого от 1 до 9%. На высоте 900 м преобладающими остаются В и ЮВ ветры, но их доля меньше по сравнению с другими высотами, суммарная повторяемость – около 39%. Возрастает повторяемость СВ румба до 14,4%. Остальные направления ветра (С, Ю, ЮЗ, З, СЗ румбы) наблюдаются менее чем в 12,5% случаев каждый.

*День.* Наибольшую повторяемость днем на высоте 100 м имеют З (19%), СЗ (около 16%) и СВ (около 15,5%) ветры. На высоте 200 м эта картина практически сохраняется: З румб наблюдается в 20% случаев, СЗ румб – в 17,1%, СВ румб – в 15,5%. Ветры остальных направлений (С, В, ЮВ, Ю, ЮЗ) отмечаются каждый менее чем в 12,5% случаев. На высоте 500 м повторяемость одинакова у З и СЗ румбов – около 18% (сумма 36,7%) и у В и СВ румбов – около 14% (сумма 28,8%). С, ЮВ, Ю, ЮЗ направления ветра отмечаются здесь в 5,2–11,4% случаев каждый. На высоте 900 м суммарная повторяемость З и СЗ направлений практически не меняется (37,6%), увеличивается доля СВ (до 17,5%) и С (до 12,7%) ветров. Повторяемость ветров В, ЮВ, Ю, ЮЗ румбов не превышает 12,5% каждого.

*Вечер.* На высоте 100 м основной шип розы направлен на СВ (около 26%). Кроме этого, выделяются З (15%) и СЗ (20%) румбы с суммарной повторяемостью 35%. Роза направлений ветра на высоте 200 м мало меняется по сравнению со 100 м. Здесь также

выделяются З (17,2%) и СЗ (19,4%) румбы (2-я группа направлений) с суммарной повторяемостью около 37% и СВ направление ветра (23,3%). На высоте 500 м повторяемость 2-й группы направлений (З и СЗ румбы) практически не изменяется – около 37%. С и СВ ветры наблюдаются в 14,1 и 13,1% случаев соответственно. Каждый из В, ЮВ, Ю, ЮЗ румбов на высотах от 100 до 500 м не превышает среднего значения (5–11%). На высоте 900 м повторяемость 2-й группы направлений увеличивается до 38,5%, с преобладанием З румба (24%). С и В румбы наблюдаются примерно в 16% случаев каждый. Повторяемость остальных румбов ниже средней (6–11%).

*Ночь.* На высотах 100, 200 и 500 м наибольшую повторяемость имеют ветры 1-й группы (В и ЮВ румбы), в сумме они составляют 50, 52 и 43% соответственно. Так, на высотах 100 и 200 м В румб фиксируется в 23–25% случаев, ЮВ румб – примерно в 27%, на высоте 500 м их повторяемость соответственно равна 21 и 22%. Кроме этого, повторяемость выше средней имеет З румб – 12,6, 12,7 и 15,5% соответственно на высотах 100, 200 и 500 м. Остальные направления ветра – С, СВ, Ю, ЮЗ, СЗ – наблюдаются менее чем в 12,5% случаев каждый. Роза направлений ветра на этих высотах имеет характерный выдвинутый лепесток на В, ЮВ. На высоте 900 м лепесток розы смещается на ЮВ, повторяемость ЮВ румба составляет примерно 25%. При этом В румб наблюдается в 17% случаев, а Ю румб – в 14,5% случаев. Повторяемость З румба остается без изменений – 15,6%. С, СВ, ЮЗ и СЗ румбы имеют повторяемость менее 10% каждый.

*Лето.* Летом рисунок роз в разное время суток и на различных высотах также различен (рис. 3.8, прил. 5), хотя и сохраняется в общих чертах вид розы для высоты 100 м.

*Утро.* На высотах 100 и 200 м картина распределения ветра примерно одинакова. Здесь выделяются два направления ветра (В и Ю) с суммарной повторяемостью 61–64%, В румб наблюдается в 27–28% случаев, а Ю румб – в 34–35%. На высоте 500 м доля этих ветров снижается примерно до 52% (соответственно 24,4 и 27,1%), но возрастает повторяемость З ветра до 16,8%. Повторяемость каждого С, СВ, Ю, ЮЗ, СЗ румбов на высотах от 100 до 500 м меньше средней (12,5%). На высоте 900 м преобладающими становятся две группы направлений: 1-я группа (В и ЮВ румбы) с суммарной повторяемостью 48%, 2-я группа (З и ЮЗ румбы) – 31,5%. Повторяемость остальных направлений находится в пределах от 0,8 до 8,4%.

*День.* На высоте 100 м доминируют ветры З румбов (СЗ, З) с суммарной повторяемостью 32,5%. С высотой их доля несколько меняется. Так, на высоте 200 м их суммарная повторяемость равна 34,8%, на 500 м – 38,5%, а на высоте 900 м – около 37%. Доля СВ и ЮЗ ветров на всех высотах практически не изменяется и находится в пределах 10–13%, на высотах 100 и 200 м выделяется ЮВ румб с повторяемостью 13–14%. Повторяемость остальных направлений ветра на высотах 100–900 м ниже 12,5%.

*Вечер.* На высоте 100 м роза направлений ветра имеет характерный выдвинутый лепесток на ЮЗ и менее выраженный – на СВ. Повторяемость ЮЗ румба составляет 23%, смежного с ним З румба – 18%, а СВ направление ветра наблюдается в 18,5% случаев. К высоте 200 м распределение повторяемости направлений ветра меняется мало. Незначительно увеличивается доля СЗ румба (до 12,8%), а повторяемости ЮЗ (22,2%), З (18,3%) и СВ (17,6%) направлений остаются практически без изменений. С высоты 500 м у розы направлений ветра лепесток с ЮЗ перемещается на З. Повторяемость З румба становится преобладающей (около 24%), а смежные и ним румбы (ЮЗ, СЗ) наблюдаются в 14–17% случаев каждый. Повторяемость СВ направления ветра немного уменьшается (15,2%). Примерно такая же картина характерна для высоты 900 м. Повторяемость З румба равна 21%, смежные и ним румбы (ЮЗ, СЗ) наблюдаются в 13–18% случаев каждый, а повто-

ряемость СВ направления ветра составляет 15,1%. Остальные румбы на всех высотах наблюдаются менее чем в 12,5% случаев.

*Ночь.* Как и утром, ночью на всех высотах преобладают два направления ветра – В и ЮВ, хотя их доля с высотой постепенно уменьшается. Так, на высоте 100 м их суммарная повторяемость равна примерно 57% (соответственно 23,7 и 32,8%), на высоте 200 м – 55% (соответственно 23,4 и 31,7%), на высоте 500 м – 49% (соответственно 23,3 и 25,4%), на высоте 900 м – уже 43% (соответственно 21,8 и 21,1%). Повторяемость остальных (С, СВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ) направлений ветра не превышает 12,5% каждого.

*Осень.* Осенью, как и в остальные сезоны года, розы направлений ветра на различных высотах сохраняют основные черты розы для 100 м (рис. 3.9, прил. 5).

*Утро.* На высоте 100 м наибольшую повторяемость имеют ветры ЮВ (38%) и В (21%) направлений, которые в сумме наблюдаются в 58% случаев. На высоте 200 м их сумма несколько меньше – около 55%. Повторяемость каждого из С, СВ, ЮЗ, З и СЗ румбов на высотах 100 и 200 м не превышает среднего значения (12,5%). На высоте 500 м картина в целом сохраняется, но В и ЮВ направления наблюдаются в сумме уже в 44% случаев, увеличивается повторяемость ЮЗ и З румбов, их сумма составляет 26,2%. На высоте 900 м суммарный максимум (36,8%) также принадлежит В и ЮВ ветрам (долинные составляющая горно-долинной циркуляции), но доля ЮЗ и З румбов увеличивается до 28,4%. Наименьшая повторяемость на высотах 500–900 м у ветров С, СВ и СЗ направлений колеблется в пределах 8–10% (сумма около 28%).

*День.* На всех высотах преобладают СЗ и смежные с ним (З и С) направления ветра, их суммарная повторяемость постепенно увеличивается с 57% (на 100 м) до 64% (на 900 м). Следует отметить, что С румб наблюдается в 10,6–15,4% случаев, а доля З и СЗ направлений примерно одинакова и находится в пределах 17–25%. Это типичные ветры долины составляющей ГДЦ с наложением ветров ОЦА. Повторяемость СВ, В, ЮВ, Ю и ЮЗ румбов на всех высотах не превышает 12,5% каждого.

*Вечер.* На всех высотах доминируют, по сравнению с дневной частью суток, два направления ветра – З и СЗ (долинные составляющая ГДЦ совместно с ветрами ОЦА). Их повторяемость с высотой постепенно увеличивается, кроме этого, лепесток розы направлений постепенно смещается с СЗ на З. Так, на высоте 100 и 200 м суммарная повторяемость этих направлений одинакова и равна 43% (З румб – 20%, СЗ румб – 23%), на высоте 500 м – уже 48% (З румб – 20%, СЗ румб – 23%), а на 900 м – 53,3% с долей З румба, равной 33,3%. Повторяемость остальных направлений ветра (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ) на всех высотах не превышает 12,5% каждого, т.е. среднего значения.

*Ночь.* На высотах от 100 до 900 м в ночные часы доминируют ветры ЮВ направления, розы ветров имеют лепесток, вытянутый на ЮВ. Так, на высотах 100, 200, 500 и 900 м повторяемость ЮВ направления ветра равна 32,9, 32,6, 29,0 и 27,7% соответственно. Также можно выделить В румб с повторяемостью 20,5% (на 100 м), 19,8% (на 200 м), 15,5% (на 500 м) и 12,7% (на 900 м) и З румб, доля которого постепенно увеличивается от 100 до 900 м на 11–14%. Оставшиеся СЗ, С, СВ, и ЮЗ румбы имеют повторяемость каждый ниже средней (12,5%).

Таким образом, в центральной части Чуйской долины во все периоды года и суток в ПГС до высот 900 м розы направлений ветра в своих главных чертах повторяют вид роз, наблюдающихся на высотах 100 м. В утренние и ночные часы наблюдается преобладание 1-й группы направлений ветра (В и смежные с ним румбы) – ветры горной составляющей ГДЦ и южных периферий антициклонов (зимой), которые хорошо развиты в это время суток. Днем и вечером во все периоды года на всех высотах преобладает долинные составляющая ГДЦ совместно с ветрами ОЦА и, следовательно, ветры 2-й группы – СЗ и

смежные (З и С) с ним румбы. Исключение составляет зима, когда во все периоды суток сильна горная составляющая ГДЦ. Склоновая циркуляция выражена слабо, однако заметна в своей южной горной компоненте.

Эти результаты заметно отличаются от распределения повторяемости направлений ветра, полученных по данным аэрологической станции «Фрунзе», расположенной в подгорной части Чуйской долины на удалении около 18 км от подножья Киргизского хребта (см. п. 2.5), где повторяемости ГДЦ и СГДЦ примерно одинаковы, что необходимо учитывать при обслуживании авиации и других практических приложениях, при использовании данных о режиме ветра.

#### 3.4. Высотные профили модуля скорости ветра в ПГС

Как продолжение п. 3.2 проанализируем высотное распределение модуля скорости ветра и повторяемость штилей в различные сезоны года и время суток в ПГС по данным выборки п. 3.1. Основные рассчитанные статистики модуля скорости ветра: среднее значение  $\bar{V}$ , коэффициенты вариации  $C(V)$ , асимметрии  $A(V)$  и эксцесса  $E(V)$ , средние из годовых максимумов  $\bar{V}_M$  и абсолютные максимальные по выборке значения  $V_M$ , а также повторяемость штилей для высот 10, 30, 40, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 900 м приведены в прил. 6 для четырех сезонов года (зима, весна, лето, осень) и четырех периодов суток (утро, день, вечер, ночь). На рис. 3.10 показаны построенные по этим данным вертикальные профили модуля скорости ветра, а на рис. 3.11 – гистограммы повторяемости штилей по высотам. В табл. 3.7 приведены значения статистических характеристик скорости для трех основных высот 10, 200 и 900 м. Эти данные позволяют наглядно увидеть картину распределения скорости ветра в слое до 900 м в суточном разрезе по сезонам года.

Отметим, что большой объем выборок позволил получить надежные оценки статистик, по крайней мере основанных на первых двух моментах –  $\bar{V}$  и  $C(V)$ .

Из рис. 3.10, 3.11 и прил. 6 видно, что во все сезоны года и периоды суток до высоты 700–900 м можно выделить два слоя с различным характером изменения скорости ветра: 1) слой от земной поверхности до 200 м, где за счет снижения трения с высотой происходит резкий рост скорости с максимумом на его верхней границе; 2) слой 200–700 (900) м, где профиль ветра имеет сложный характер, но в целом скорость мало изменяется с высотой.

При этом переход к ветрам ОЦА, выраженный в увеличении скорости ветра с высотой, происходит зимой с уровня 700 м, а весной, летом и осенью он лежит выше 900 м и потому не отражен на графиках рис. 3.10. Повторяемость штилей у земли относительно высока (6–12%), с высотой она снижается примерно в 2–3 раза, но на высотах 700 м зимой может достигать достаточно больших значений 7–8%, а осенью на высоте 900 м составляет 6%.

Более детальные особенности высотных профилей модуля скорости ветра сводятся к следующему.

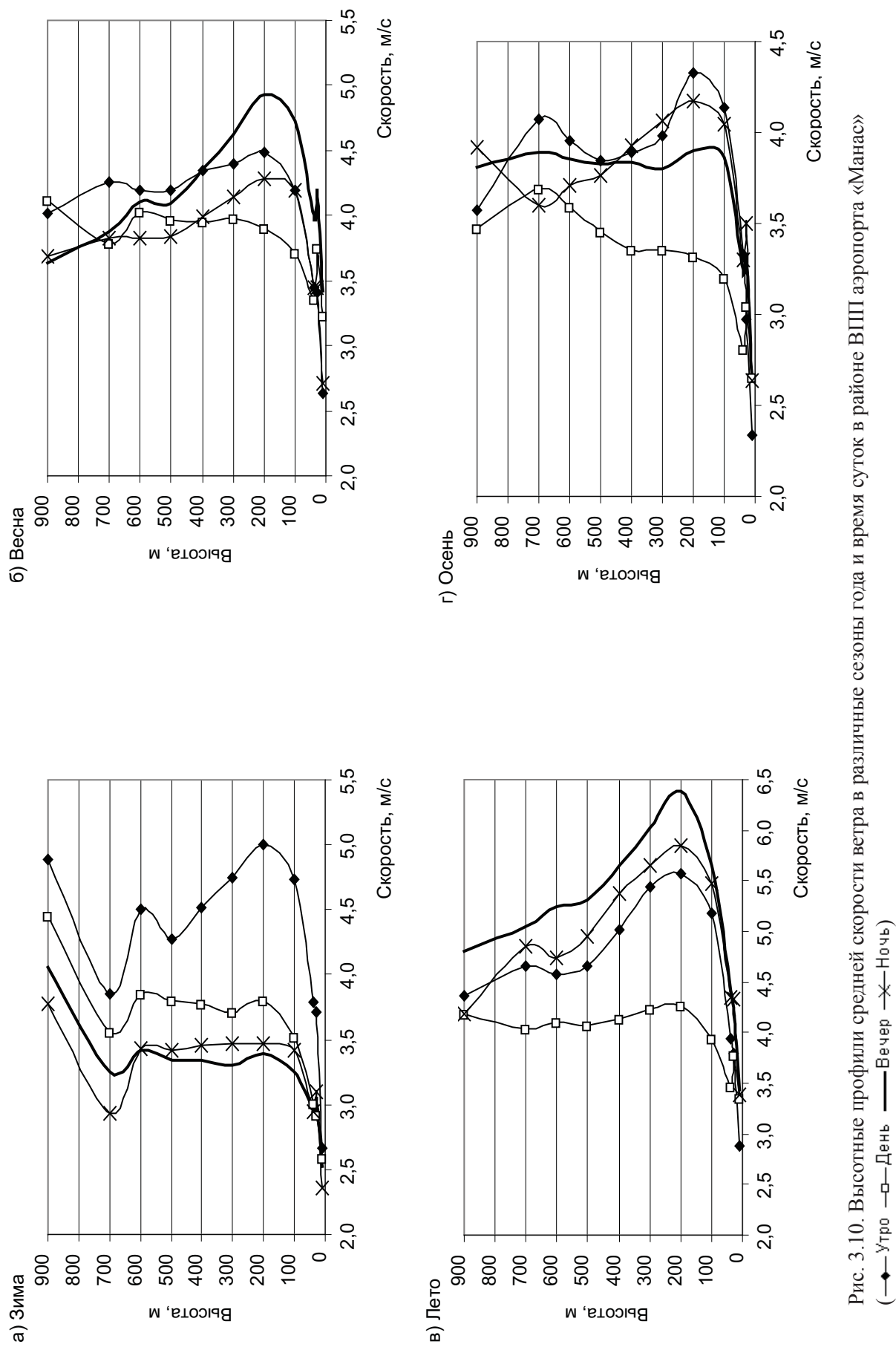
**Зима.** Скорость ветра в слое 10–200 м зимой растет с высотой на 0,9–2,4 м/с, с наибольшим ее увеличением в утреннее время от 2,6 до 5,0 м/с. Следовательно, максимальные на профиле значения скорости на 200 м составляют днем, вечером и ночью – 3,4–3,8 м/с, а утром достигают 5,0 м/с. В слое 200–900 м скорости почти не изменяются с высотой до 700 м, уклоняясь от значения на высоте 200 м на 0,1–0,2 м/с. Исключение – утро, когда скорость уменьшается от 5,0 до 3,9 м/с (на 1,1 м/с). Выше 700 м скорости растут за счет перехода к потокам ОЦА так, что рост от 700 к 900 м составляет 0,8–1,1 м/с. Они

Таблица 3.7

Статистические характеристики модуля скорости ветра и повторяемость штилей  
для трех основных высот 10, 200 и 900 м

Сезон	Высота, м	Время суток											
		Утро			День			Вечер			Ночь		
		10	200	900	10	200	900	10	200	900	10	200	900
Зима	$\bar{V}$ , м/с	2,6	5,0	4,9	2,6	3,8	4,4	2,5	3,4	4,1	2,4	3,5	3,8
	$C(V)$	0,73	0,73	0,67	0,73	0,76	0,71	0,70	0,71	0,61	0,73	0,75	0,67
	$A(V)$	0,95	1,07	1,28	0,95	1,27	1,24	1,08	1,56	1,37	1,00	1,18	0,56
	$E(V)$	0,99	0,49	1,90	0,99	1,42	1,68	1,70	3,50	2,46	1,34	1,30	-0,20
	$\bar{V}_m$ , м/с	9	14	10	9	13	10	8	13	7	8	11	6
	$V_m$ , м/с	10	16	16	10	15	16	9	14	12	9	15	11
	Штиль, %	11,9	1,6	0,0	11,9	4,6	0,9	10,4	4,7	3,8	12,7	5,7	5,8
Весна	$\bar{V}$ , м/с	2,6	4,5	4,0	3,2	3,9	4,1	3,4	4,9	3,6	2,7	4,3	3,7
	$C(V)$	0,69	0,69	0,63	0,67	0,72	0,72	0,58	0,60	0,85	0,61	0,61	0,73
	$A(V)$	0,99	1,66	0,91	1,19	1,49	2,17	0,82	0,99	3,18	0,94	1,15	1,56
	$E(V)$	1,65	4,96	0,46	2,15	2,96	11,18	0,75	0,73	16,12	2,24	2,19	3,20
	$\bar{V}_m$ , м/с	8	16	10	12	17	14	9	14	11	8	14	9
	$V_m$ , м/с	11	23	12	14	19	27	11	16	23	10	17	15
	Штиль, %	10,0	1,3	0,0	6,5	3,4	3,1	4,2	0,7	4,0	8,0	2,1	2,5
Лето	$\bar{V}$ , м/с	2,9	5,6	4,4	3,4	4,3	4,2	3,4	6,4	4,8	3,4	5,9	4,2
	$C(V)$	0,58	0,58	0,54	0,62	0,72	0,70	0,53	0,57	0,58	0,52	0,55	0,67
	$A(V)$	0,79	0,90	0,99	0,84	1,63	1,47	0,98	0,97	1,05	0,90	0,81	1,80
	$E(V)$	1,21	1,43	1,54	0,81	3,88	2,70	1,40	1,07	0,85	1,66	0,62	4,71
	$\bar{V}_m$ , м/с	8	16	10	10	18	14	9	18	12	10	16	12
	$V_m$ , м/с	10	22	14	12	22	18	12	21	15	12	20	17
	Штиль, %	5,7	1,5	0,8	5,7	2,0	2,0	1,8	0,7	0,0	3,1	0,5	0,7
Осень	$\bar{V}$ , м/с	2,3	4,3	3,6	2,7	3,3	3,5	2,7	3,9	3,8	2,6	4,2	3,9
	$C(V)$	0,69	0,71	0,65	0,71	0,76	0,71	0,63	0,67	0,69	0,68	0,66	0,81
	$A(V)$	1,26	1,40	0,93	1,34	1,75	1,68	1,04	1,31	1,35	1,15	1,34	2,15
	$E(V)$	2,62	2,44	1,27	3,58	4,78	5,26	2,36	2,47	3,91	2,23	2,82	6,68
	$\bar{V}_m$ , м/с	8	20	9	11	14	12	8	13	10	9	15	12
	$V_m$ , м/с	10	42	12	15	18	17	11	16	16	11	20	19
	Штиль, %	8,7	3,2	5,9	10,0	5,0	5,9	8,2	2,6	6,3	9,5	2,6	5,7







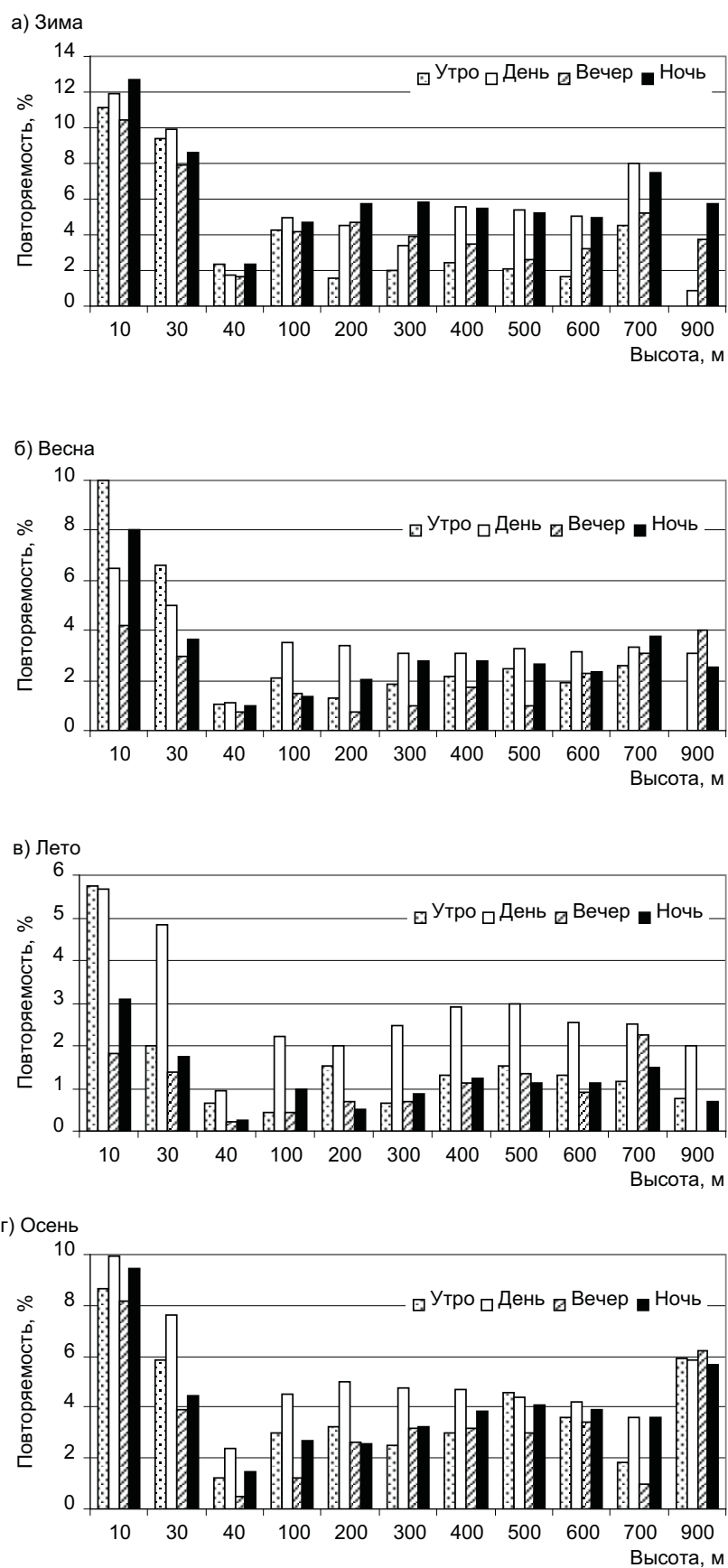


Рис. 3.11. Распределение повторяемости штилей по высотам в различные сезоны года и время суток в районе ВПП аэропорта «Манас»

увеличиваются вечером и ночью с 2,9–3,3 до 3,8–4,1 м/с, а утром и днем – с 3,6–3,9 до 4,4–4,9 м/с.

На профилях  $\bar{V}_m$  и  $V_m$  наибольшие скорости ветра приходятся на слой 100–700 м, где они достигают значений:  $\bar{V}_m$  – 11–16 м/с,  $V_m$  – 15–25 м/с. Наименьшие значения  $\bar{V}_m$  и  $V_m$  отмечаются вечером, наибольшие – утром, однако во всех случаях от 700 к 900 м они несколько (примерно на 1–2 м/с) или заметно (до 4–5 м/с) понижаются.

Повторяемость штилей во все периоды суток от уровня 10 м, где она 10–13%, снижается к 100 м до 4–6%. В слое 100–900 м наибольшее число штилей отмечается днем и ночью (около 5%), а наименьшее – утром и вечером (2–3%). Максимальная повторяемость штилей наблюдается на высоте 700 м днем и ночью (7–8%), тогда как утром и вечером она около 5%.

**Весна.** Картина распределения модуля скорости ветра практически не изменяется. Рост скорости ветра в слое 10–200 м несколько ниже, чем зимой, и составляет 0,7–1,9 м/с, с наибольшим ее увеличением также в утреннее время, хотя сами скорости вечером выше. Максимальные на профиле значения  $\bar{V}$  (200 м) днем и ночью примерно равны 4 м/с, а утром и вечером они достигают 4,5–4,9 м/с. В слое 200–900 м скорости утром, днем и ночью практически не изменяются по сравнению со значением на 200 м (в пределах  $\pm 0,6$  м/с), а вечером уменьшаются с высотой на 1,3 м/с (от 4,9 до 3,6 м/с).

Средние из годовых максимумов  $\bar{V}_m$  в слое 100–900 м ночью и утром равны 8–16 м/с, а днем и вечером они несколько выше – 9–20 м/с. Абсолютные максимальные значения скорости  $V_m$  постепенно увеличиваются с высотой от 14–19 м/с (200 м) до 23–27 м/с (700 м). В вечернее время на высоте 700 м 10 апреля 1988 г. была зафиксирована скорость в 38 м/с. Так же, как и зимой,  $\bar{V}_m$  и  $V_m$  несколько понижаются от 700 к 900 м на 3–8 м/с.

Во все периоды суток повторяемость штилей от уровня 10 м, где она 6–10%, снижается к 100 м до 1,5–3,5%. В слое 100–900 м наибольшее число штилей отмечается днем и ночью (около 2,5–3%), наименьшее – утром и вечером (1,5–2,5%). На высотах 700 и 900 м число штилей увеличивается до 2,5–4%. Утром на высоте 900 м штилей не зафиксировано вообще.

**Лето.** Высотное распределение скорости ветра в целом повторяет зимнее и весеннее, но есть некоторые особенности. В слое 10–200 м наблюдается рост скорости ветра вечером от 3,4 до 6,4 м/с, т.е. на 3 м/с. Это наибольшее среднее значение ее в году на высоте 200 м. Несколько меньший рост скорости имеет место ночью и утром. Слабый рост соответствует только дню – на 0,9 м/с (от 3,4 до 4,3 м/с). В слое 200–900 м наблюдается уменьшение скоростей с высотой: утром – на 1,2 м/с (с 5,6 до 4,4 м/с), вечером и ночью – на 1,6–1,7 м/с (с 5,9–6,4 до 4,2–4,8 м/с), а днем они практически не изменяются с высотой и находятся в пределах 4,0–4,3 м/с.

Несмотря на относительно большие средние скорости летом, максимальные  $\bar{V}_m$  и  $V_m$  сравнительно низки. В целом за сутки  $\bar{V}_m$  не превышают 16–19 м/с, а  $V_m$  – 23 м/с. Следует отметить, что на высоте 700 м вечером (1 июня 1990 г.) была зарегистрирована скорость 27 м/с.

Повторяемость штилей во все периоды суток относительно других сезонов года низка. От 1,8–5,7% на 10 м она снижается до 0,5–2,2% на 100 м. В слое 100–900 м штилей фиксируется около 1% во все периоды суток, за исключением дня, когда их повторяемость поднимается до 2,0–2,5%.

**Осень.** Осенняя картина распределения модуля скорости ветра не явилась каким-либо исключением. Рост скорости ветра в слое 10–200 м составляет от 0,7–1,2 м/с (днем и вечером) до 1,5–2,0 м/с (утром и ночью). Следовательно, максимальные на профиле

значения  $\bar{V}$  на высоте 200 м днем и ночью примерно равны 4,2–4,3 м/с, вечером они несколько меньше – 3,9 м/с, а днем составляют 3,3 м/с. В слое 200–900 м скорости утром, вечером и ночью практически не изменяются по сравнению со значением на 200 м (в пределах 0,2 м/с), а днем наблюдается слабая тенденция увеличения скорости ветра с высотой от 3,3 до 3,7 м/с.

На профилях  $\bar{V}_m$  и  $V_m$  наибольшие скорости ветра приходятся на слой 100–700 м, где они достигают следующих значений:  $\bar{V}_m$  – 16–18 м/с,  $V_m$  – 20–23 м/с. Наименьшие значения  $\bar{V}_m$  и  $V_m$  отмечаются днем и вечером, наибольшие – утром. Так, утром на высоте 200 м средние максимальные скорости могут увеличиваться до 20 м/с, а абсолютный зафиксированный максимум равен 42 м/с (15 ноября 1988 г.).

Повторяемость штилей во все периоды суток от 8–10% на 10 м снижается до 1,2–4,5% к 100 м. В слое 100–700 м она находится в пределах от 2,5 до 4,5% с наибольшим значением днем. На высоте 900 м количество штилей в течение суток равно и составляет примерно 6%.

Еще раз отметим, что в слое 10–200 м рост скорости обусловлен уменьшением внешнего и вязкого трения с высотой, т.е. общими причинами, характерными для пограничного слоя. Выше него, на высотах 200–900 м, сложный характер высотного профиля модуля скорости объясняется меняющимся положением верхней границы часто наблюдаемой горно-долинной циркуляции в сочетании с суточным ходом коэффициента турбулентности и характером обмена количеством движения внутри этого слоя. Известно [34, 35, 90, 98], что теоретический максимум скоростей при ГДЦ лежит на высоте  $Z = 0,25 \cdot H$ , где  $H$  – высота верхней границы нижнего течения, которая по [98] колеблется в пределах 0,86–1,50 км. Положение максимума фактически может сильно меняться в зависимости от сезона и конкретной погодной ситуации, что и приводит к различным типичным картинам высотного профиля, показанного на рис. 3.10 и 3.11. Выше 700–900 м, как это следует из данных АС «Фрунзе» (см. п. 2.5) и шаропилотных наблюдений на АМЦ «Манас», имеет место переход к ветрам ОЦА с закономерным ростом скорости с высотой. Причем зимой этот переход над ВПП аэропорта «Манас» начинается с 700 м, а в остальные сезоны – выше 900 м.

Статистический характер распределений модуля скорости на всех высотах в ПГС во все сезоны и время суток качественно такой же, как и у земной поверхности: распределения сильно правоасимметричны ( $A(V) > 0,4$ –4,9), островершинны ( $E(V)$  до 6,8–39,9) и имеют большую вариацию ( $C(V) = 0,4$ –0,9).

Таким образом, высотные профили средних скоростей ветра во все сезоны и время суток характеризуются их ростом примерно на 1–3 м/с в слое 10–200 м, что особенно сильно проявляется утром (во все сезоны года) и днем (летом). В слое от 200 до 900 м скорости ветра либо слабо меняются с высотой, имея профиль различной сложности, либо заметно убывают к высоте 700–900 м, но всегда с четко выраженным максимумом на нижней границе (200 м). Существенное убывание скоростей наблюдается: зимой и осенью – утром, весной – вечером, летом – ночью и вечером. Максимальные скорости ветра достаточно велики и могут достигать: средние максимальные – 20 м/с, а абсолютные – 42 м/с. Число штилей на высотах 100–900 м относительно невелико (не более 3–5%) и лишь на высотах 700–900 м может достигать 8%. Статистические распределения скорости на всех высотах характеризуются значительной изменчивостью, сильной положительной асимметрией и существенной островершинностью.

Такая детализированная картина высотных профилей ветра получена впервые. Она существенно расширяет сведения о режиме ветра в ПГС для Чуйской долины и ССЗК в целом. Особенно важны эти данные для метеорологического обслуживания авиации.

### 3.5. Высотные профили зональных и меридиональных составляющих и результирующего ветра

Полученные в п. 3.2–3.4 результаты по режиму ветра на основании анализа характеристик модуля скорости ветра и повторяемости его направлений (что является общепринятым и наиболее широко распространенным) весьма полезно дополнить анализом других аэроклиматических характеристик, которые используются гораздо реже, главным образом, ввиду технических трудностей их расчета. Использование компьютерных технологий позволило сделать такие расчеты вполне доступными для решения нашей задачи. К этим аэроклиматическим характеристикам относятся: 1) зональная ( $V_x$ ) и меридиональная ( $V_y$ ) составляющие вектора ветра (ось  $x$  направлена на восток, касательно к кругу широты, а ось  $y$  – на север, касательно к меридиану); 2) модуль результирующего ветра  $V_p = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ ; 3) направление результирующего ветра  $\alpha$  (откуда дует  $V_p$ ), определяемое из выражения  $\alpha = \arctg \frac{V_x}{V_y}$ . Численные оценки этих характеристик были рассчитаны по методике п. 4.2 для той же шаропилотной выборки, на основании которой написаны п. 3.2 – 3.4.

Статистический анализ  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_p$  и  $\alpha$  в слое до 900 м позволяет ответить на следующие вопросы о режиме ветра в различные сезоны и время суток для пограничного слоя атмосферы:

- какие направления (соответственно знакам «+» западные или «–» восточные) и численные значения в среднем имеют зональные составляющие  $V_x$ ;
- какие направления (соответствуют знакам «+» южные или «–» северные) и численные значения в среднем имеют меридиональные составляющие  $V_y$ ;
- каков модуль результирующего ветра  $V_p$  и его направление  $\alpha$ , характеризующие «статистический» вектор осредненного ветра, который определяет фактическую скорость и направление переноса в атмосфере.

Дополнительно к аэроклиматической картине режима ветра, которая будет гораздо более полной с рассмотрением этих характеристик, их анализ позволит более точно и обоснованно ответить на вопрос о существенности (несущественности) развития составляющих склоновой горно-долинной циркуляции (СГДЦ) и горно-долинной циркуляции по оси долины (ГДЦ) в районе осевой зоны, где находится аэропорт «Манас».

Рассчитанные статистики (среднее, СКО, асимметрия и эксцесс) параметров  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_p$  и  $\alpha$  для различных сезонов года, времени суток и высот приведены в прил. 7. На рис. 3.12 и 3.13 показаны полученные высотные профили  $V_x$  и  $V_y$ . В табл. 3.8 приведены значения статистик составляющих для трех основных высот: 10, 200 и 900 м.

Из этих данных можно сделать следующие основные выводы.

Прежде всего, численные значения составляющих  $V_x$  и  $V_y$  (табл. 3.8, прил. 7) значительно меньше, чем модули средних скоростей, рассмотренных в п. 3.2 и 3.4, что объясняется сутью самих составляющих ( $|V_x| \leq V$ ,  $|V_y| \leq V$ ), а также частичной взаимной компенсацией их положительных и отрицательных значений при осреднении. Особенно это относится к положительным зональным составляющим  $V_x$ , не превосходящим 1–1,3 м/с, и меридиональным отрицательным составляющим  $V_y$ , не превышающим по модулю 1 м/с.

Четко выраженный вид профилей с максимумами на высоте 100–200 м, равными по абсолютной величине до 1,5–2,8 м/с, имеется только для отрицательных зональных

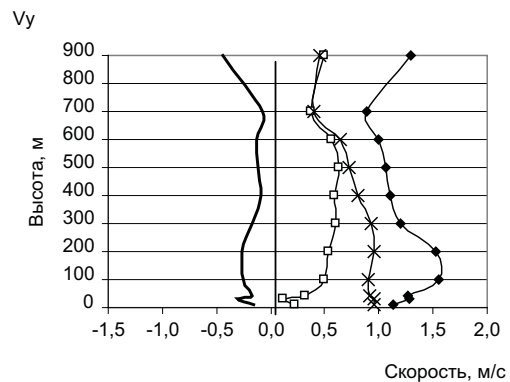
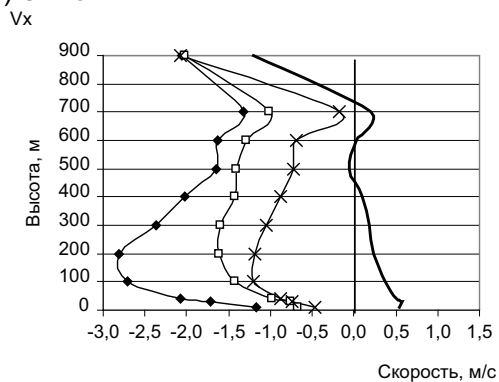
Таблица 3.8

Статистические характеристики зональной и меридиональной составляющих скорости ветра  
для трех основных высот – 10, 200 и 900 м

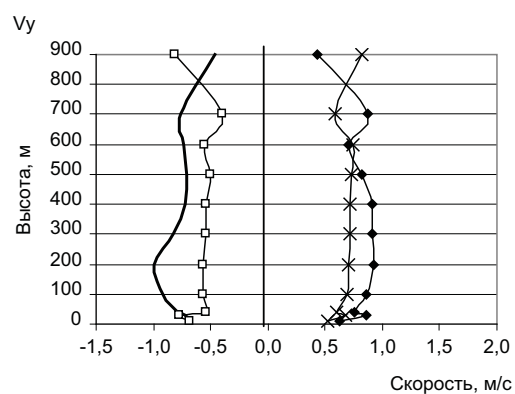
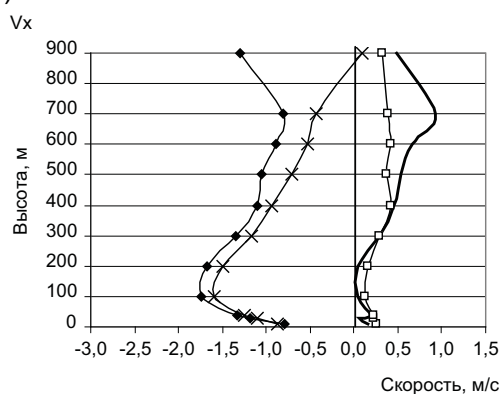
Сезон	Высота, м	Время суток											
		Утро			День			Вечер			Ночь		
		10	200	900	10	200	900	10	200	900	10	200	900
Зима	$\bar{V}_x$	-1,2	-2,8	-2,1	-0,7	-1,6	-2,0	0,5	0,2	-1,2	-0,5	-1,2	-2,1
	$\sigma(V_x)$	2,3	4,3	4,8	2,6	3,6	4,4	2,6	3,5	3,9	2,2	3,5	3,6
	$A(V_x)$	-0,3	-0,1	1,1	-0,1	-0,4	0,3	-0,2	-0,4	0,4	-0,1	-0,3	0,1
	$E(V_x)$	0,9	0,9	2,8	0,2	0,6	1,7	0,9	1,3	1,0	0,5	0,8	0,3
	$\bar{V}_y$	1,1	1,5	1,3	0,2	0,5	0,5	-0,2	-0,3	-0,4	1,0	1,0	0,5
	$\sigma(V_y)$	1,7	3,1	2,5	1,8	2,6	2,4	1,5	2,2	2,4	1,5	2,0	1,8
	$A(V_y)$	-0,1	0,1	-0,1	0,2	0,1	-0,4	-0,1	0,1	-0,7	0,6	0,1	-0,1
	$E(V_y)$	1,9	1,0	1,9	1,4	1,9	1,6	1,0	1,8	1,4	1,3	1,5	0,3
Весна	$\bar{V}_x$	-0,8	-1,7	-1,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0	0,5	-0,9	-1,5	0,1
	$\sigma(V_x)$	2,4	4,3	3,4	3,0	3,9	4,1	3,0	4,6	4,0	2,4	4,0	3,5
	$A(V_x)$	0,4	0,0	0,0	0,2	0,1	0,7	0,0	-0,3	-0,6	0,5	0,4	0,8
	$E(V_x)$	0,9	1,5	0,6	0,7	1,5	4,6	0,0	0,1	5,0	1,2	1,0	1,7
	$\bar{V}_y$	0,6	0,9	0,4	-0,7	-0,6	-0,8	-0,7	-1,0	-0,5	0,5	0,7	0,8
	$\sigma(V_y)$	1,8	2,7	3,0	2,3	2,8	2,8	2,4	3,4	2,6	1,8	2,6	2,9
	$A(V_y)$	0,4	0,3	-0,6	-0,4	0,1	0,2	0,2	0,3	2,4	-0,1	0,1	-0,5
	$E(V_y)$	1,2	1,1	1,2	1,1	1,4	1,4	0,1	0,3	12,6	0,3	0,5	2,2
Лето	$\bar{V}_x$	-1,3	-2,4	-0,6	0,4	0,4	1,0	0,1	0,4	1,2	-1,6	-2,8	-0,7
	$\sigma(V_x)$	2,3	4,9	4,2	3,1	4,1	4,1	3,0	5,8	4,4	2,5	4,8	4,1
	$A(V_x)$	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,4	-0,1	-0,4	0,2	0,5	0,3	0,1
	$E(V_x)$	0,9	-0,2	-0,1	0,2	1,4	1,2	-0,2	-0,3	0,4	0,8	0,1	2,7
	$\bar{V}_y$	1,3	1,7	1,2	-0,2	-0,1	-0,5	0,5	0,2	-0,1	1,1	1,1	0,4
	$\sigma(V_y)$	1,6	3,0	2,4	2,4	3,2	2,9	2,4	4,5	3,2	2,1	3,6	2,8
	$A(V_y)$	0,4	0,8	-0,4	-0,1	0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,1	-0,5	-0,2	-0,2
	$E(V_y)$	2,9	4,4	0,8	0,4	2,0	1,4	0,2	0,2	0,0	1,3	0,5	1,3
Осень	$\bar{V}_x$	-0,7	-1,6	-0,3	0,6	0,5	0,7	0,6	0,9	1,3	-0,6	-1,3	-0,2
	$\sigma(V_x)$	2,0	4,6	3,4	2,6	3,3	3,5	2,3	3,6	3,8	2,3	3,9	4,0
	$A(V_x)$	0,0	-1,7	0,2	0,3	-0,3	-0,4	0,1	-0,3	-0,1	0,6	0,3	0,4
	$E(V_x)$	1,4	14,0	0,8	1,6	3,4	2,9	1,2	1,3	1,8	1,8	1,4	3,4
	$\bar{V}_y$	1,1	1,4	0,7	-0,5	-0,5	-0,6	-0,2	-0,7	-0,4	1,0	1,1	0,8
	$\sigma(V_y)$	1,5	2,5	2,5	1,8	2,4	2,3	2,0	2,8	2,3	1,8	2,6	3,0
	$A(V_y)$	0,4	0,2	-0,4	0,0	0,5	0,0	0,0	0,2	0,2	-0,3	0,1	-0,1
	$E(V_y)$	1,8	1,3	0,8	1,2	1,5	1,7	-0,3	1,3	0,7	2,4	1,0	4,1

Примечание: Единицы измерения  $\bar{V}_x$ ,  $\sigma(V_x)$ ,  $\bar{V}_y$  и  $\sigma(V_y)$  – м/с.

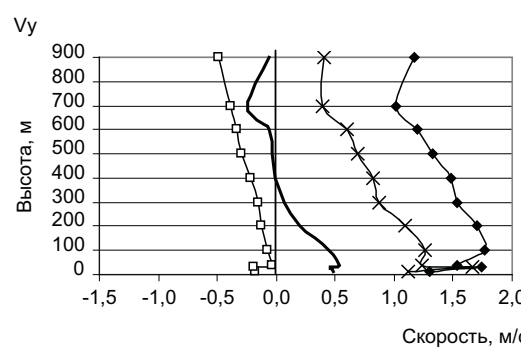
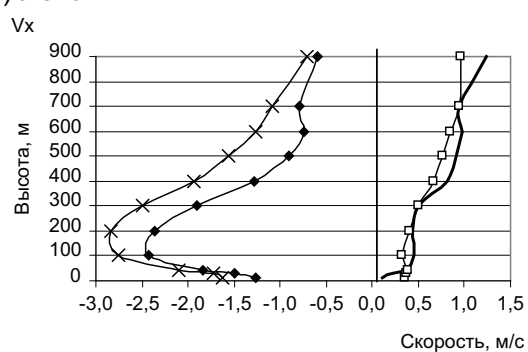
а) Зима



б) Весна



в) Лето



г) Осень

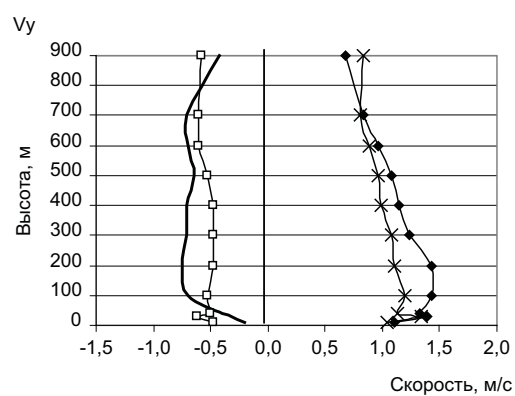
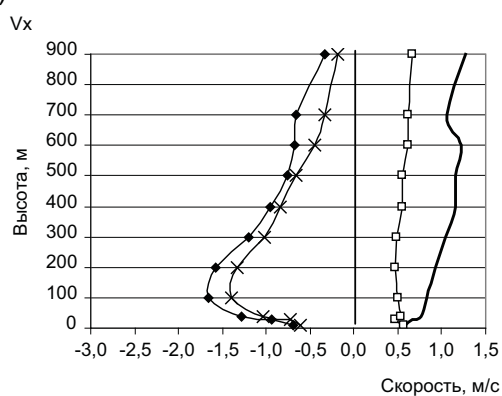


Рис. 3.12. Высотные профили  $V_x$  и  $V_y$  средней скорости ветра в различные сезоны года и время суток в районе ВПП аэропорта «Манас»

(—♦— Утро —□— День ——— Вечер —×— Ночь)



составляющих, соответствующих восточному направлению. Выше максимума значения  $V_x$  убывают к 700–900 м по абсолютной величине до 0,5–1 м/с.

Зональные положительные составляющие, направленные с запада на восток, не имеют четко выраженных профилей. Их скорости либо почти постоянны по высоте, либо слабо растут (слабо убывают) с высотой в пределах колебаний  $V_x$  всего на  $\pm 0,5$  м/с.

Меридиональные составляющие  $V_y$  обоих знаков, как правило, также характеризуются слабо выраженным видом профилей ветра, колеблясь по высоте в пределах  $\pm 0,5$  м/с. Только зимой и летом для  $+V_y$  имеет место более заметно выраженный максимум на высотах 100–200 м.

Профили зональных составляющих  $V_x$  во все сезоны года по знаку имеют четкий суточный ход. Так, весной, летом и осенью они положительны днем и вечером (зимой только вечером), т.е. имеют в это время направление с запада на восток. Ночью и утром (а зимой также и днем) профили  $V_x$  отрицательны, т.е. имеют направление с востока на запад. Такой суточный ход, несомненно, является следствием развития ГДЦ по оси Чуйской долины, горная компонента которой направлена с востока на запад, и существенной повторяемостью антициклонических типов погод в холодный период года, когда в пограничном слое устанавливаются восточные потоки ОЦА.

Профили меридиональной составляющей  $V_y$  также во все сезоны года имеют хорошо выраженный по знаку суточный ход. Они *положительны*, т.е. имеют направление с юга на север (от Киргизского хребта к оси долины) зимой – ночью, утром и даже днем (гравитационный сток холодного воздуха), весной и летом – ночью и утром (летом – вечером профиль до 400 м также положителен, а выше отрицателен), осенью – ночью и утром. Это свидетельствует о хорошей выраженности горной компоненты склоновой горно-долинной циркуляции, направленной от склона Киргизского Ала-Тоо к оси долины.

Профили  $V_y$  *отрицательны*, имеют направление с севера на юг (от оси долины к Киргизскому хребту): зимой – только в вечернее время (и при этом во всем 900-метровом слое их численные значения близки к нулю, 0,1–0,5 м/с); весной – днем и вечером; летом – днем, а вечером только в слое выше 400 м (до 400 м они положительны); осенью – днем и вечером. Это свидетельствует о том, что дневная компонента СГДЦ (направленная с севера на юг) еще заметно выражена.

На всех высотах изменчивость зональных  $\sigma(V_x)$  и меридиональных  $\sigma(V_y)$  составляющих, по сравнению с самими составляющими, велика. Особенно велики  $\sigma(V_x)$ , которые по сезонам меняются в следующих пределах: зима – 2,2–4,8 м/с; весна – 2,4–4,6 м/с; лето – 2,3–5,8 м/с; осень – 2,1–4,6 м/с. Значения меридиональных  $\sigma(V_y)$  примерно в 1,5–2 раза меньше: зима – 1,5–3,1 м/с; весна – 1,8–3,4 м/с; лето – 1,6–4,6 м/с; осень – 1,5–3,0 м/с. Это свидетельствует о том, что индивидуальные значения составляющих могут быть гораздо больше их средних значений на профиле с кратностью до 5–10 раз.

Асимметрия распределения  $\bar{V}_x$  и  $\bar{V}_y$  на различных высотах может быть близка к нулевой ( $\pm 0,10$ ), слабо положительной и слабо отрицательной ( $\pm 0,30$ ), реже – умеренно положительной и отрицательной ( $\pm 0,50$ – $0,60$ ). В слое до 600 м, где она оценена достаточно надежно, пределы колебаний составляют: для  $A(V_x)$  от  $-0,55$  до  $0,63$ ; для  $A(V_y)$  от  $-0,55$  до  $0,76$ . Лишь осенью утром на высотах 200–300 м она оказалась аномально большой:  $A_{200\text{м}}(V_x) = -1,66$ ,  $A_{300\text{м}}(V_x) = -1,33$ .

Экссесс распределений обеих составляющих, как правило, положителен и колеблется в пределах от 0,3 (0,5) до 2 (3–4).

На рис. 3.13 показаны высотные профили модуля результирующего ветра  $V_r$ , в табл. 3.9 приведены его численные значения, а также направления  $\alpha$  в градусах и соответствующий им румб. Наглядно показано, что по виду профили  $V_r$  являются зеркальным отражением профилей зональных составляющих  $V_x$ . Это совершенно естественно по двум причинам: 1) меридиональные составляющие  $V_y$  малы и их вклад в  $V_r$  близок к вкладу малого постоянного по высоте слагаемого; 2) скорости  $V_y$  отрицательны, и поэтому их профили направлены противоположно  $V_r$ , которые всегда положительны по определению.

Видно, что зимой  $V_r$  ночью, утром и днем имеют максимумы на высоте 100–200 м, составляющие 1,5–3,2 м/с, выше скорости убывают к 700 м, а затем растут при переходе к потокам ОЦА. И только вечером в условиях зимы они слабо убывают во всем слое от 10 к 700 м.

Весной, летом и осенью, как и в случае составляющих  $V_x$  и  $V_y$ , имеет место деление профилей  $V_r$  в течение суток на две группы: 1) ночная и утренняя группа с хорошо выраженным максимумом около 2–3 м/с на высоте 100–200 м и убыванием скорости во всем вышележащем слое; 2) дневная и вечерняя группа с ростом скорости  $V_r$  с высотой без четко выраженного максимума.

Как и следовало ожидать (табл. 3.9), анализ направлений результирующего ветра дает четкую картину его суточной периодичности.

*Зима.* Направление  $V_r$  зимой – ночью и утром – ЮВ, что обусловлено большим вкладом в повторяемости направления реальных ветров горных составляющих ГДЦ, СГДЦ, гравитационного стока, а также ветров южных и юго-восточных периферий антициклонов. Днем вклад горной составляющей СГДЦ ослабевает за счет большой удаленности аэропорта «Манас» от подножья (около 35 км), поэтому направление реального ветра определяется в основном тремя другими факторами, так что  $\alpha$  становится восточным.

*Весна.* Весной – ночью и утром – картина остается без изменений,  $\alpha$  соответствует ЮВ румбу. Но днем и вечером она становится четко расслоенной по высоте. В слое до 200 м днем и до 300 м вечером имеет место северное направление  $V_r$ . Это можно объяснить вкладом долинной составляющей СГДЦ, имеющей такое же направление. Выше уровня 300–400 м днем и вечером  $\alpha$  соответствует СЗ румбу. Это потоки долинной составляющей ГДЦ совместно с ветрами ОЦА.

*Лето.* Ночью и утром по-прежнему  $\alpha$  имеет ЮВ направление. Наблюдающиеся отклонения на отдельных высотах очень малы и по румбам чисто формальны. Но днем и вечером картина изменяется по сравнению с весной. Днем во всем слое до 900 м  $\alpha$  равна 275–298°. Это граница сектора З и СЗ румбов. На самом деле  $\alpha$  очень мало меняется с высотой, переходя из З в СЗ румб и обратно. Несомненно, такие  $\alpha$  объясняются преобладанием ветров ОЦА и долинной составляющей ГДЦ. Возможен также и некоторый вклад долинной составляющей СГДЦ.

*Осень.* Как и во все остальные сезоны, осенью (ночью и утром) во всем рассматриваемом слое до 900 м  $\alpha$  соответствует ЮВ румбу. Днем и вечером, как и летом,  $\alpha$  имеет СЗ направление (слой 10–900 м), но теперь численно оно на 10–20° больше ( $\alpha = 288–322^\circ$ ), и поэтому на всех высотах направление устойчиво попадает в СЗ сектор. Следовательно, основные причины, формирующие  $\alpha$ , остались летними.

Таблица 3.9

Модуль результирующего ветра ( $V_p$ ) и его направление ( $\alpha$ )

Высота, м	$V_p$	$\alpha$		$V_p$	$\alpha$		$V_p$	$\alpha$		$V_p$	$\alpha$	
	м/с	град.	румб	м/с	град.	румб	м/с	град.	румб	м/с	град.	румб
	Зима			Весна			Лето			Осень		
Утро												
10	1,6	134	ЮВ	1,0	128	ЮВ	1,8	136	ЮВ	1,3	148	ЮВ
30	2,1	127	ЮВ	1,5	126	ЮВ	2,3	139	ЮВ	1,7	146	ЮВ
40	2,4	121	ЮВ	1,5	119	ЮВ	2,4	130	ЮВ	1,8	136	ЮВ
100	3,1	120	ЮВ	1,9	116	ЮВ	3,0	126	ЮВ	2,2	131	ЮВ
200	3,2	118	ЮВ	1,9	119	ЮВ	2,9	126	ЮВ	2,1	132	ЮВ
300	2,7	117	ЮВ	1,6	124	ЮВ	2,5	129	ЮВ	1,7	136	ЮВ
400	2,3	119	ЮВ	1,4	129	ЮВ	2,0	139	ЮВ	1,5	140	ЮВ
500	2,0	123	ЮВ	1,3	128	ЮВ	1,6	146	ЮВ	1,3	145	ЮВ
600	1,9	122	ЮВ	1,1	128	ЮВ	1,4	148	ЮВ	1,2	145	ЮВ
700	1,6	124	ЮВ	1,2	137	ЮВ	1,3	142	ЮВ	1,1	142	ЮВ
900	2,4	122	ЮВ	1,4	108	В	1,3	153	ЮВ	0,8	153	ЮВ
День												
10	0,7	108	В	0,7	340	С	0,4	297	СЗ	0,7	310	СЗ
30	0,8	98	В	0,8	344	С	0,4	298	СЗ	0,8	322	СЗ
40	1,0	108	В	0,6	338	С	0,4	275	З	0,7	313	СЗ
100	1,5	109	В	0,6	347	С	0,3	282	З	0,7	316	СЗ
200	1,7	108	В	0,6	345	С	0,4	288	З	0,7	315	СЗ
300	1,7	111	В	0,6	331	СЗ	0,5	287	З	0,7	315	СЗ
400	1,5	112	В	0,7	323	СЗ	0,7	288	З	0,7	311	СЗ
500	1,5	114	ЮВ	0,6	323	СЗ	0,8	291	З	0,8	314	СЗ
600	1,4	114	ЮВ	0,7	323	СЗ	0,9	292	З	0,9	314	СЗ
700	1,1	110	В	0,6	315	СЗ	1,0	293	СЗ	0,9	314	СЗ
900	2,1	104	В	0,9	339	С	1,1	297	СЗ	0,9	311	СЗ
Вечер												
10	0,6	286	З	0,7	348	С	0,5	193	Ю	0,6	289	З
30	0,6	298	СЗ	0,7	355	С	0,5	206	ЮЗ	0,7	296	СЗ
40	0,5	289	З	0,8	346	С	0,6	214	ЮЗ	0,9	298	СЗ
100	0,5	303	СЗ	0,9	357	С	0,6	226	ЮЗ	1,1	310	СЗ
200	0,3	319	СЗ	1,0	358	С	0,5	246	ЮЗ	1,2	309	СЗ
300	0,2	312	СЗ	0,9	341	С	0,5	263	З	1,3	304	СЗ
400	0,1	315	СЗ	0,8	328	СЗ	0,8	270	З	1,4	302	СЗ
500	0,1	29	СВ	0,9	323	СЗ	0,9	272	З	1,3	299	СЗ
600	0,1	346	С	1,0	318	СЗ	1,0	274	З	1,4	300	СЗ
700	0,2	290	З	1,2	310	СЗ	1,0	285	З	1,3	303	СЗ
900	1,3	70	В	0,7	314	СЗ	1,2	273	З	1,3	288	З
Ночь												
10	1,1	154	ЮВ	1,0	121	ЮВ	2,0	124	ЮВ	1,2	150	ЮВ
30	1,2	142	ЮВ	1,3	122	ЮВ	2,4	134	ЮВ	1,5	152	ЮВ
40	1,3	136	ЮВ	1,4	116	ЮВ	2,4	120	ЮВ	1,5	137	ЮВ
100	1,5	127	ЮВ	1,7	113	ЮВ	3,0	115	ЮВ	1,8	130	ЮВ
200	1,5	129	ЮВ	1,6	115	ЮВ	3,0	111	В	1,7	130	ЮВ
300	1,4	131	ЮВ	1,4	121	ЮВ	2,6	109	В	1,5	137	ЮВ
400	1,2	133	ЮВ	1,2	127	ЮВ	2,1	113	ЮВ	1,3	140	ЮВ
500	1,0	135	ЮВ	1,0	136	ЮВ	1,7	114	ЮВ	1,2	146	ЮВ
600	0,9	133	ЮВ	0,9	145	ЮВ	1,4	115	ЮВ	1,0	153	ЮВ
700	0,4	157	ЮВ	0,7	144	ЮВ	1,2	110	В	0,9	157	ЮВ
900	2,1	102	В	0,8	186	Ю	0,8	119	ЮВ	0,9	168	Ю

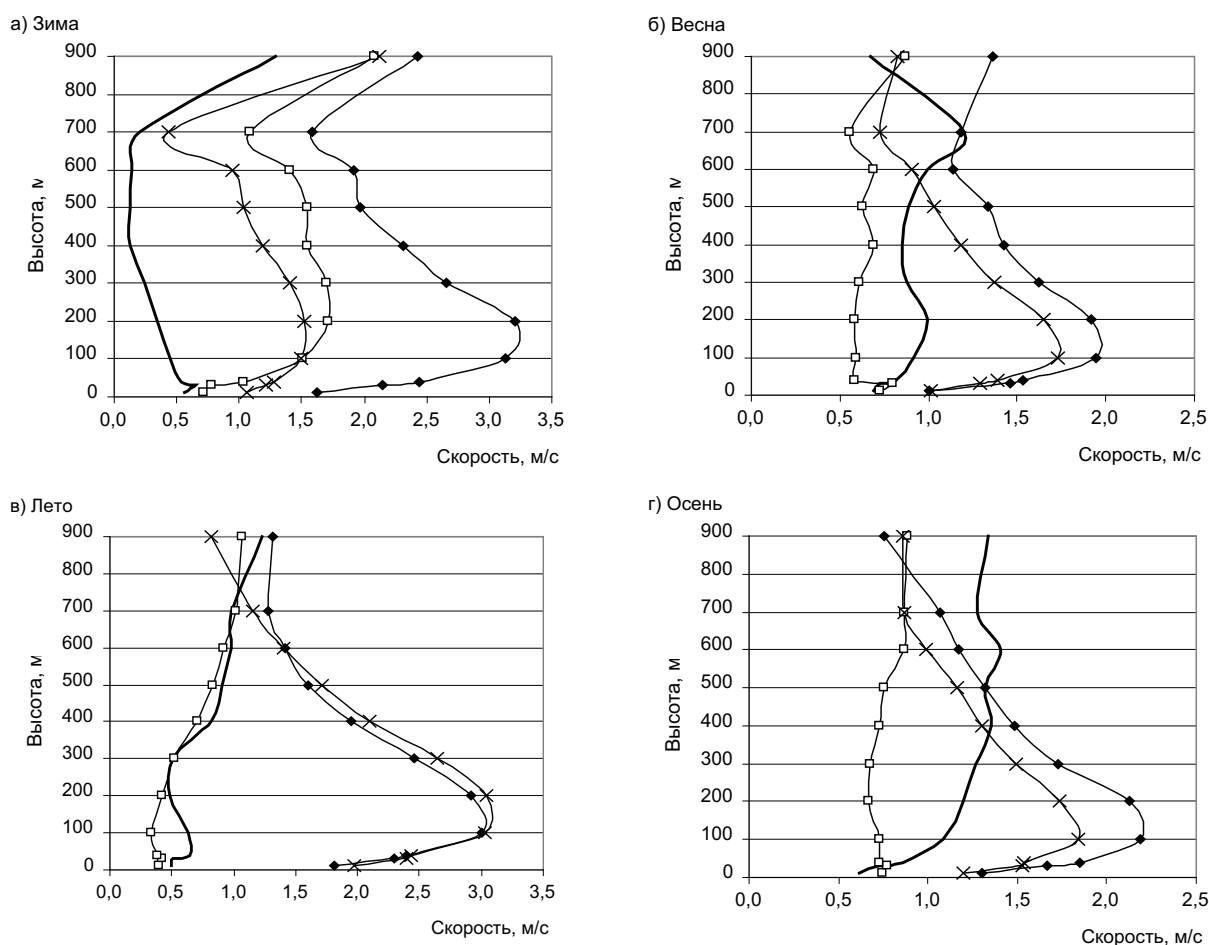


Рис. 3.13. Высотные профили модуля результирующей скорости ветра ( $V_p$ ) в различные сезоны года и время суток в районе ВПП аэропорта «Манас»  
(—◆— Утро —□— День ——— Вечер —×— Ночь)

Важно отметить, что в приземном слое трения до 200–300 м, учитывая ровный характер поверхности, должен иметь место вклад правого поворота ветра с высотой ( $\alpha$  увеличивается) в пределах 10–20°. Как видно из табл. 3.9, этого нет. Следовательно, другие механизмы, формирующие режимы направлений (ГДЦ, СГДЦ), перекрывают этот эффект.

Полученные в п. 3.5 выводы, являются новыми, т.к. такого рода анализ выполнен впервые. Они существенно расширяют имевшиеся до сих пор представления о режиме ветра в Чуйской долине и в Северном, Северо-Западном Кыргызстане в целом. В общих качественных положениях эти выводы, скорее всего, могут быть перенесены на Таласскую долину, несмотря на несомненные отличия от Чуйской по орографическим условиям.

#### 4. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СДВИГИ ВЕТРА В ПГС НАД ЧУЙСКОЙ ДОЛИНОЙ

В настоящем разделе рассматривается опасное для авиации явление – вертикальный сдвиг ветра (ВСВ). Исследование выполнено на основании специальных расчетов по материалам тех же шаропилотных наблюдений на АМЦ «Манас», которые легли в основу написания раздела 3. В таком объеме, как это сделано ниже, задача решается впервые не только для Кыргызстана, но и Центральной Азии в целом. При этом она решается, прежде всего, с позиций получения практических решений для метеорологического обеспечения безопасности полетов авиации в изучаемом районе.

##### 4.1. Понятие вертикального сдвига ветра и критерии его опасных значений для авиации

Одной из важных характеристик пространственной изменчивости ветра, знание которой необходимо при пилотировании воздушных судов при взлетах и посадках, является сдвиг ветра. Сильные сдвиги ветра относят к опасным для авиации явлениям погоды [32, 40].

Сдвиг ветра определяется как разность вектора ветра в двух точках пространства, разнесенных по вертикали (вертикальный сдвиг) или горизонтали (горизонтальный сдвиг). К сдвигам ветра относятся также восходящие и нисходящие вертикальные скорости в приземном слое. Будем далее говорить только о вертикальном сдвиге ветра (ВСВ), численно выражаемом вертикальным градиентом вектора скорости ветра.

Влияние сдвига ветра на условия взлета и посадки детально описывается в учебниках по авиационной метеорологии [12, 14, 39]. На рис. 4.1 показан пример влияния вертикального сдвига ветра на взлет и посадку.

Предположим, что при посадке наблюдается строго встречный ветер, скорость которого больше на более высоком уровне. При снижении на нижний уровень, где скорость ветра  $V_1 < V_2$ , уменьшается не только скорость ветра, но и скорость обтекания самолета воздушным потоком, а следовательно, и подъемная сила самолета. В результате этого подъемная сила на нижнем уровне уже не уравнивает самолет, и он «проваливается» – летит ниже расчетной траектории. В этом случае посадка самолета возможна или в самом начале полосы, или даже до начала ВПП, что весьма опасно.

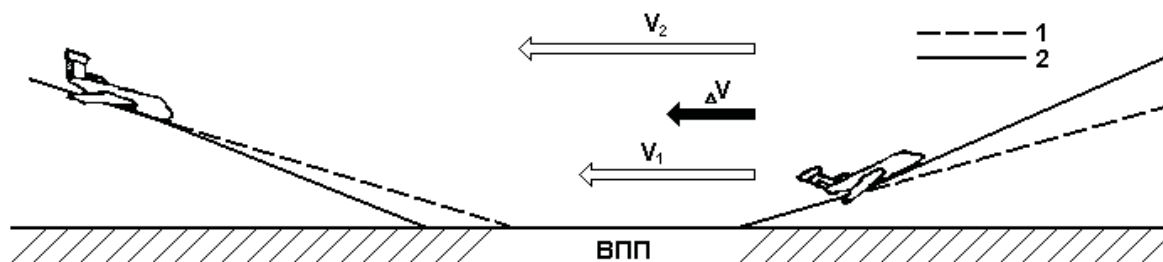


Рис. 4.1. Пример влияния вертикального сдвига ветра на взлет и посадку: 1 – предполагаемая, 2 – действительная траектория движения ВС [14]

При взлете самолета наблюдается иная картина (рис. 4.1). При наборе высоты самолет попадает в зону более сильного встречного ветра. Это значит, что его подъемная сила с высотой увеличивается быстрее ожидаемой, траектория полета самолета оказывается выше расчетной, и при сильных сдвигах ветра самолет может попасть на закритические

углы атаки. В свою очередь, это приводит к срыву потока, сваливанию самолета на крыло и к возможному столкновению ВС с землей.

Если скорость ветра с высотой не увеличивается, а уменьшается, то картины влияния ветра на взлет и посадку меняются на обратные.

Численно вертикальный сдвиг ветра в слое  $\Delta Z = Z_2 - Z_1$  есть вектор  $\vec{\beta}$ , равный разности векторов ветра на верхнем уровне  $\vec{V}_2$  и нижнем  $\vec{V}_1$ , отнесенной к единице толщины слоя  $\Delta Z$  (рис. 4.2):

$$\vec{\beta} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{\Delta Z} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta Z}.$$

Вектор  $\vec{\beta}$  имеет модуль, равный

$$\beta = \frac{|\Delta \vec{V}|}{\Delta Z}, \quad (4.1)$$

и направление  $\gamma^\circ$ , совпадающее с направлением  $\Delta \vec{V}$ .

Для слоя произвольной толщины  $\Delta Z$  единицей измерения сдвига ветра является  $\text{с}^{-1}$ . На практике, по рекомендации ИКАО [104, 106], предлагается рассматривать модуль сдвига ветра  $\beta$  по (4.1) для приземного 30-метрового слоя. Тогда, наряду с  $\text{с}^{-1}$  единицей измерения  $\beta$  является  $\text{м}/(\text{с} \cdot 30 \text{ м})$ . Используется также единица  $\text{м}/(\text{с} \cdot 100 \text{ м})$  и аналогичные.

Численное значение  $\beta$  (и  $\vec{\beta}$ ) зависит от толщины слоя  $\Delta Z$  и от высотного положения  $\Delta Z$ , так как  $\beta$  есть производное от высотного распределения скорости. Если взять слои разной толщины, то при *нелинейном* изменении  $[\Delta V]$  с высотой, что характерно для ПГС, определенное для более тонкого приземного слоя  $\Delta Z_1$  значение  $\beta$  будет более высоким, чем для всего более мощного слоя  $\Delta Z_2$ , включающего  $\Delta Z_1$  (рис. 4.3).

Поэтому, если в приземном слое по тем или иным причинам определяется значение  $\beta$  для слоев различной толщины, то чтобы они были сравнимы между собой, рекомендуется приводить значение  $\beta$  к слою 30 м. Это можно сделать, только выполнив специальные измерения для данной ВПП и найдя соответствующие зависимости.

ИКАО разработаны критерии значений  $\beta$  ( $\text{м}/\text{с} \cdot 30 \text{ м}$ ), характеризующие разную степень опасности вертикальных сдвигов в приземном слое [106]. Шкала этих критериев для приземного  $\Delta Z = 30 \text{ м}$  приведена в табл. 4.1. Как видно, значения  $\beta \leq 0,07$  относятся к категории слабых,  $0,07 < \beta \leq 0,14$  – умеренных,  $0,14 < \beta \leq 0,21$  – сильных,  $\beta > 0,21 \text{ с}^{-1}$  – очень сильных сдвигов ветра, рассчитанных для прилегающего к ВПП слоя 30 м.

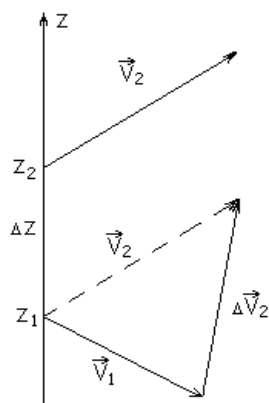


Рис. 4.2. К определению вектора сдвига ветра:  $\Delta \vec{V}$  – векторная разность скоростей на верхнем  $\vec{V}_2$  и нижнем  $\vec{V}_1$  уровнях,  $\Delta Z = Z_2 - Z_1$  – толщина слоя



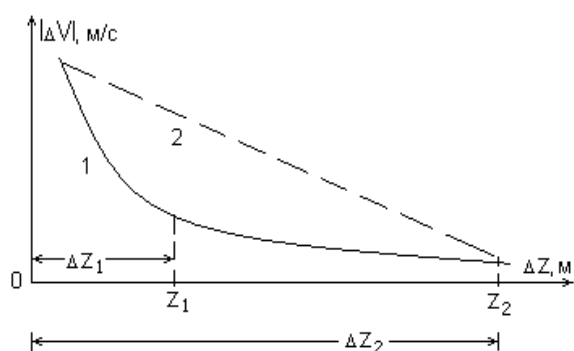


Рис. 4.3. К пояснению зависимости  $\beta$  от толщины слоя  $\Delta Z$  при нелинейном изменении  $[\Delta V]$  с высотой: 1 – фактическая кривая  $[\Delta V]$  от  $Z$ ; 2 – линейная аппроксимация  $[\Delta V]$  от  $Z$  при расчете  $\beta$  для слоя  $\Delta Z_2$

Таблица 4.1

Шкала категорий опасности вертикальных сдвигов ветра  
(все толщины слоев соответствуют 30 м) [106]

Качественный термин	$\text{с}^{-1}$ (м/с на 1 м)	Узлы на 100 фут.	м/с на 30 м
Слабый	0–0,07	0–4	0–2
Умеренный	0,07–0,14	5–8	2–4
Сильный	0,14–0,21	9–12	4–6
Очень сильный	> 0,21	>12	>6

Изучению ВСВ по данным мачтовых и аэрологических наблюдений посвящены работы таких исследователей, как Васильев А.А. [32], Глазунов В.Г. [36–42], Брюхань Ф.Ф. [28], Гутерман И.Г. [44], Орленко Л.Р. и Шкляревич О.Б. [87–89] и др. [1, 31, 54, 55, 57, 58, 80, 104]. Обобщающие результаты зарубежных теоретических и практических исследований изложены в циркуляре ИКАО [106] и в учебниках по авиационной метеорологии [12, 14].

В этих исследованиях получены следующие основные результаты.

Вопросам оценки ВСВ по мачтовым наблюдениям (мачта 301 м ИЭМ «Обнинск» и телевизионная башня «Останкино») посвящены работы [36, 37, 42, 57, 58, 80, 113]. В них получены вертикальные профили сдвигов, их средние и максимальные значения в нижнем 300-метровом слое. Оказалось, что наиболее высокие  $\beta$  (средние и максимальные) при прочих равных условиях соответствуют нижнему приземному слою 8–25 м, тогда как выше значения ВСВ быстро убывают. Так, по [113] средние значения ВСВ –  $\bar{\beta}$  в слое 8–25 м по наблюдениям составляли в среднем 1,5 м/с (примерно  $0,09 \text{ с}^{-1}$ ), в слое 25–49 м и вышележащих слоях – 0,9 м/с ( $0,04 \text{ с}^{-1}$ ) и менее. Максимальные сдвиги ветра по [42] в нижнем 8–25 м слое могли достигать  $0,453 \text{ с}^{-1}$ .

В работе [42] для конкретного района (Обнинск) приведено решение весьма важной задачи: методике приведения  $\beta$ , определенного для приземного слоя произвольной толщины, к значению для слоя 30 м. Полученные формулы для  $\bar{\beta}$  и  $\beta_{\text{макс}}$  имеют следующий вид:

$$\bar{\beta} = a\Delta H^b \text{ и } \beta_{\text{макс}} = A\Delta H^B, \quad (4.2)$$

где  $\Delta H$  – толщина слоя;  $a$ ,  $b$  и  $A$ ,  $B$  – некоторые эмпирические коэффициенты, которые, надо ожидать, неодинаковы для различных районов и по [42] равны:  $a = 26,58$ ,  $b = -0,47$ ;  $A = 238,31$ ,  $B = -0,67$ .

Для удобства практического использования в [42] приводится соответствующая номограмма (рис. 4.4), из которой видно, что чем тоньше приземный слой  $\Delta Z$ , тем выше в нем значения  $\bar{\beta}$  и  $\beta_{\text{макс}}$  при прочих равных условиях.

В работе [57] представлены синоптико-статистические модели сдвигов ветра в нижнем 500-метровом слое атмосферы, что дает возможность проводить их более детальный статистический анализ, позволяя снизить риск летных происшествий. В дополнение к этой работе в [58] излагается методика по созданию автоматизированного банка данных сдвигов ветра в нижнем слое атмосферы на основе результатов наблюдений скорости, направления ветра и температуры воздуха, для получения статистических моделей сдвигов в приземном слое атмосферы.

Важным является также вопрос об изменениях ВСВ в приземном слое при различных метеорологических условиях. В работах [1, 32, 38, 41, 104] показано, что значения ВСВ зависят от меняющихся синоптических ситуаций, когда при прохождении атмосферных фронтов сдвиги ветра могут достигать очень больших значений (более  $0,21 \text{ с}^{-1}$ ). При этом в зоне теплых фронтов сильные ВСВ формируются преимущественно за счет изменения направления ветра с высотой, в зоне холодных – за счет изменения скорости, а в зоне фронтов окклюзии – за счет изменения совместно скорости и направления ветра.

Различные климато-статистические характеристики вертикальных сдвигов ветра приведены в [28, 31, 87–89]. В работе [28] на основе данных четырехсрочных радиозондовых наблюдений в слое 0–100 м за период с 1961 по 1970 гг. получена пространственная климатическая картина сдвигов ветра для территории СССР. Так, максимальные средние значения  $\bar{\beta}$  (до  $0,07 \text{ с}^{-1}$ ) наблюдаются над Северным Казахстаном, Западной Сибирью и центральной частью ЕТС, а минимальные значения – в районе Уральских гор, над Восточной Сибирью и предгорьями Средней Азии. В работах [87–89] на основе данных температурно-ветрового зондирования на станции «Воейково» и градиентных наблюдений на станции «Колуши» в слое 0–300 (400) м за период с 1958 по 1970 гг. приведена методика расчета величины сдвига ветра, учитывающая влияние скорости геострофического ветра, шероховатости подстилающей поверхности, характеристики стратификации и адвекции температуры.

Вопросы аэроклиматологии ВСВ выше пограничного слоя атмосферы по данным аэрологических станций рассматриваются в работе [44]. В ней для 9 станций, примерно равномерно размещенных на территории СССР, оценены средние и максимальные значения ВСВ в слоях толщиной 1–2 км в диапазоне высот от 2 до 16 км. Получено, что средние ВСВ варьируют от 1 до 9 м/с км, в зависимости от времени года. При этом сдвиги несколько убывают от слоев 2–3 и 3–4 км к слоям средней тропосферы (4–5 и 5–6 км),

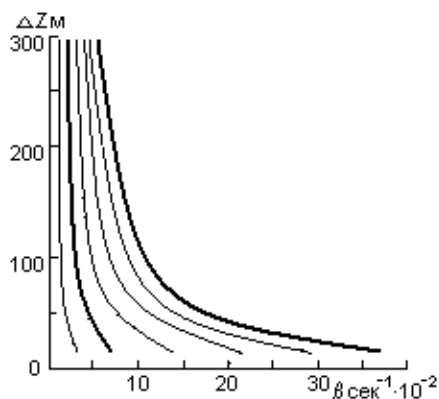


Рис. 4.4. Номограмма приведения величин сдвига ветра от одной толщины слоя к другой по В.Г. Глазунову [42]

где наблюдается их минимум. Выше они возрастают с различной степенью интенсивности до высот 11–12 км, а в нижней стратосфере ВСВ снова убывают. Максимальные средние значения ВСВ увеличиваются до уровня 8–9 и 9–10 км ( $\overline{\beta}_{\text{макс}} = 24\text{--}30$  м/с км), а выше практически не изменяются с высотой. Абсолютные максимальные значения ВСВ наблюдаются зимой в слое 8–9 км ( $\beta_{\text{макс}} = 43$  м/с км), а летом – в слое 15–16 км ( $\beta_{\text{макс}} = 47$  м/с км).

Насколько нам известно, в странах Центральной Азии вертикальные сдвиги ветра изучались только в Узбекистане [54, 55]. В указанных работах по данным шаропилотных наблюдений до высот 1000 м за 7,5 лет (1959–1966 гг.) в 11 аэропортах были оценены по слоям в 50 м повторяемости разности модульной скорости (что не равно  $\beta$ ) при условии, что хотя бы на одной из высот скорость ветра была 15 м/с и выше. Эти данные показали, что пики ветра в основном сосредоточены в слое 100–500 м над поверхностью земли. Максимальные разности скорости чаще всего встречаются под пиком (76%). В то же время скорости 15 м/с и более на профиле ветра вовсе не гарантируют большие изменения скорости с высотой. Очевидно, что это бывает при «тупых» пиках на профилях ветра, тогда как «острые» пики, несомненно, опаснее «тупых».

Таким образом, вопрос о характере ВСВ в нижнем километровом слое для Центральной Азии остается недостаточно изученным, а данные о вертикальных сдвигах ветра для ССЗК полностью отсутствуют.

#### 4.2. Методика вычисления вертикальных сдвигов ветра по наземным и шаропилотным данным

Существует несколько способов расчета модуля сдвига ветра. Изложим здесь только использованный нами метод расчета путем разложения каждого измеренного значения вектора ветра  $\vec{V}$  на составляющие  $V_x$  и  $V_y$ . Для вычисления модуля вертикального сдвига ветра  $\beta$  использовалась определяющая формула (4.1):

$$\beta = \frac{|\Delta \vec{V}|}{\Delta Z}.$$

Пусть  $\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$  – векторы ветра на нижнем и верхнем смежных уровнях  $Z_1$  и  $Z_2$ . Разложим их (рис. 4.5) на составляющие  $V_{1x}$ ,  $V_{2x}$  и  $V_{1y}$ ,  $V_{2y}$  по оси  $x$  (направлена с запада на восток) и оси  $y$  (направлена с юга на север) с учетом знаков по следующим формулам:

$$V_x = -V \cdot \sin \alpha, V_y = -V \cdot \cos \alpha, \quad (4.3)$$

где  $\alpha$  – угол направления ветра; знак «–» в формулах введен потому, что  $\alpha$  показывает угол, откуда дует ветер (обратный математическому направлению векторов).

$$\Delta V_x = V_{2x} - V_{1x}, \Delta V_y = V_{2y} - V_{1y}. \quad (4.4)$$

Зная  $\Delta V_x$  и  $\Delta V_y$  для каждого из слоев, можно найти модуль векторной разности ветра

$|\Delta \vec{V}|$  в слое  $\Delta Z$  по формуле (рис. 4.6)

$$|\Delta \vec{V}| = [\Delta V_x^2 + \Delta V_y^2]^{0.5}. \quad (4.5)$$

Направление векторной разности  $\Delta \vec{V}$  вектора ветра в слое  $\Delta Z$  можно найти из выражения (рис. 4.6)

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta V_x}{\Delta V_y}. \quad (4.6)$$

Угол  $\gamma$  при использовании правил оценки знаков  $\Delta V_x$  и  $\Delta V_y$  будет показывать по (4.6), «откуда направлен сдвиг ветра».

В качестве исходного материала для расчета вертикальных сдвигов ветра использованы анемометрические (мачта 10 м, диспетчерская вышка 30 м) и шаропилотные измерения ветра до высот 900 м, которые в течение 11 лет (1981–1991 гг.) проводились Авиаметцентром «Манас». Объем и структура этих данных рассмотрены в п. 3.1. Они вполне достаточны для надежной статистической характеристики ВСВ.

Значения  $\beta$  ( $\text{с}^{-1}$ ) рассчитывались для слоев 10–30, 10–40, 40–100, 100–200, 200–300, 300–400, 400–500, 500–600, 600–700 и 700–900 м. Все расчеты велись аналитически по специально разработанной схеме с использованием программы Excel, на основе данных о скорости и направлениях ветра на различных высотах (см. п. 3.1). Для возможности использования составляющих вектора ветра на высотах, а также для решения других различных задач аэроклиматологии, предусматривалось их сохранение по результатам промежуточных расчетов. Схема расчетов по программе Excel имеет вид, показанный в табл. 4.2, где приведена форма занесения исходных данных, промежуточные статистические расчеты составляющих векторов ветра ( $V_x$  и  $V_y$ ) и модуля векторной разности  $\Delta \vec{V}$ , а также модуля сдвига вектора ветра  $\beta$  ( $\text{с}^{-1}$ ) для слоев 10–30 (анемометры) и 10 (анемометр) – 40 (шаропилот) м. При этом для слоя 10–40 м модуль разности  $\Delta \vec{V}$  численно соответствует параметру модуля сдвига ветра, рекомендуемому ИКАО –  $\beta$  ( $\text{м}/(\text{с} \cdot 30 \text{ м})$ ) для практического использования в приземном слое (шкала табл. 4.1).

Для каждой эмпирической выборки рассчитывались основные статистики распределений  $\beta$  [108]: среднее значение –  $\bar{\beta}$ ; коэффициенты вариации –  $C(\beta)$ , асимметрии –  $A(\beta)$  и эксцесса –  $E(\beta)$ . Кроме того, определялись  $\bar{\beta}_m$  – средние из годовых максимумов  $\beta$  и  $\beta_m$  – абсолютные максимальные по выборке значения. Для слоя 10–40 м эмпирические выборки аппроксимировались законом Пуассона с расчетом вероятностных характеристик максимальных сдвигов.

Прежде всего, средние и максимальные значения  $\beta$  для приземного слоя 10–30 м ( $\Delta Z = 20$  м) надо было попытаться привести к толщине слоя  $\Delta Z = 30$  м, который рекомендован ИКАО. Это можно сделать, например, по соответствующим зависимостям Глазунова В.Г. (4.2), полученным по измерениям на ВММ в Обнинске (см. п. 4.1) [42].

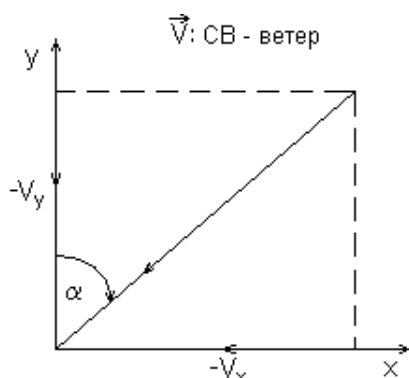


Рис. 4.5. Пример разложения СВ ветра на составляющие  $V_x$  и  $V_y$

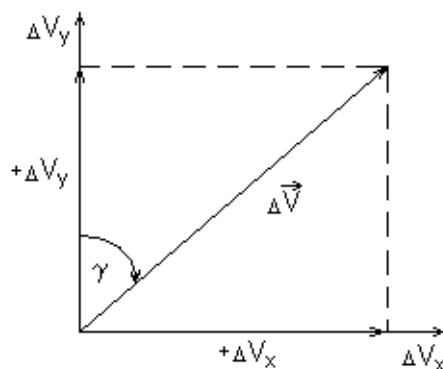


Рис. 4.6. Пример определения по разностям составляющих  $+\Delta V_x$  и  $+\Delta V_y$  векторной разности вектора ветра  $\Delta \vec{V}$  в слое  $\Delta Z$

Таблица 4.2

Пример расчета составляющих вектора ветра и его сдвига в слоях 10–30 и 10–40 м

Год	Вечер	Выборка: облачность до подъема шаропилота							
1984	Дата	01/01	02/01	03/01	04/01	05/01	06/01	07/01	08/01
	Время	15:20	15:30	15:05	14:45	15:30	15:30	15:00	15:00
Облачн.	общ./нижн.	10/0	10/0	10/0	10/4	9/0	10	3/0	9/0
до подъем	форма	Ac, Ci	ci	Ac, Ci	ci, Sc	ci, Ac	Sc	***	ci
Высота, м	Выборка (скорость, направление ветра) и расчет ВСВ								
10 (мачта)	$\alpha$ , град.	300	290	350	310	230	0	300	260
	$\alpha$ , рад.	5,24	5,06	6,11	5,41	4,01	0,00	5,24	4,54
	$V$ , м/с	1	4	3	5	4	0	3	7
	$V_x$ , м/с	0,87	3,76	0,52	3,83	3,06	0,00	2,60	6,89
	$V_y$ , м/с	-0,50	-1,37	-2,95	-3,21	2,57	0,00	-1,50	1,22
30 (вышка)	$\alpha$ , град.	340	270	350	330	230	314	290	260
	$\alpha$ , рад.	5,93	4,71	6,11	5,76	4,01	5,48	5,06	4,54
	$V$ , м/с	1	4	1	7	4	1	2	7
	$V_x$ , м/с	0,34	4,00	0,17	3,50	3,06	0,72	1,88	6,89
	$V_y$ , м/с	-0,94	0,00	-0,98	-6,06	2,57	-0,69	-0,68	1,22
30–10	$\Delta V_x$ , м/с	-0,52	0,24	-0,35	-0,33	0,00	0,72	-0,72	0,00
	$\Delta V_y$ , м/с	-0,44	1,37	1,97	-2,85	0,00	-0,69	0,82	0,00
	$ \Delta V $ , м/с	0,68	1,39	2,00	2,87	0,00	1,00	1,09	0,00
$\beta = \Delta V_{м/с} / 20_{м}$		0,034	0,069	0,100	0,143	0,000	0,050	0,054	0,000
40 (шаропилот)	$\alpha$ , град.	343	285	6	312	227	314	306	253
	$\alpha$ , рад.	5,99	4,97	0,10	5,45	3,96	5,48	5,34	4,42
	$V$ , м/с	1	4	2	6	4	1	3	5
	$V_x$ , м/с	0,29	3,86	-0,21	4,46	2,93	0,72	2,43	4,78
	$V_y$ , м/с	-0,96	-1,04	-1,99	-4,01	2,73	-0,69	-1,76	1,46
40–10	$\Delta V_x$ , м/с	-0,57	0,10	-0,73	0,63	-0,14	0,72	-0,17	-2,11
	$\Delta V_y$ , м/с	-0,46	0,33	0,97	-0,80	0,16	-0,69	-0,26	0,25
	$ \Delta V $ , м/с	0,73	0,35	1,21	1,02	0,21	1,00	0,31	2,13
$\beta = \Delta V_{м/с} / 30_{м}$		0,024	0,012	0,040	0,034	0,007	0,033	0,010	0,071

Взяв производные от (4.2) и вычислив их численные значения для  $\Delta Z = 25$  м (середины слоя 20–30 м), получим:

$$\frac{\partial \bar{\beta}}{\partial Z} = -0,47 \cdot 26,58 \cdot \Delta Z^{-1,47} \Rightarrow$$

$$\left. \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial Z} \right|_{\Delta Z=25 м} = -0,110 c^{-1} \cdot 10^{-2} \cdot м^{-1};$$

$$\frac{\partial \beta_{\max}}{\partial Z} = -0,67 \cdot 238,31 \Delta Z^{-1,67} \Rightarrow$$

$$\left. \frac{\partial \beta_{\max}}{\partial Z} \right|_{\Delta Z=25 м} = -0,739 c^{-1} \cdot 10^{-2} \cdot м^{-1}.$$

В результате для приведения  $\beta$  от слоя  $\Delta Z = 20$  м к  $\Delta Z = 30$  м, получаем поправки:  
 $\Delta \bar{\beta}(\Delta Z = 10 м) = -0,011$  и  $\Delta \beta_{\max}(\Delta Z = 10 м) = -0,074$ . (4.7)

Как видно, корректировка средних и максимальных сдвигов ветра в слое 10–30 м с целью их переноса на слой 10–40 м (по зависимости Глазунова В.Г. [42]) существенно не снизила бы значения  $\bar{\beta}$  и  $\beta_{\text{макс}}$ , полученные для слоя 10–30 м. Поэтому эти поправки нами не вводились, а отдельно анализировались данные для слоев 10–30 и 10–40 м.

Анализ полученных результатов о ВСВ в различных слоях приведен в следующих пунктах настоящего раздела.

### 4.3. Вертикальные сдвиги ветра в приземном слое 10–40 м

Рассмотрим по сезонам года и времени суток рассчитанные нами статистические характеристики ВСВ в приземном слое 10–40 и 10–30 м: среднее значение –  $\bar{\beta}$ ; коэффициенты вариации –  $C(\beta)$ , асимметрии –  $A(\beta)$  и эксцесса –  $E(\beta)$ , средние из годовых максимумов  $\bar{\beta}_m$  и абсолютные максимальные по выборке значения  $\beta_m$ , которые приведены нами в табл. 4.3 и 4.4. В табл. 4.5 приведено также отношение  $k$  величин  $\bar{\beta}$  (10–30 м) и  $\bar{\beta}$  (10–40 м), что необходимо для сравнения средних ВСВ, полученных для слоев 10–30 и 10–40 м.

В слое 10–40 м (табл. 4.3), рекомендованном ИКАО [106], во все сезоны года и время суток средние сдвиги ветра  $\bar{\beta}$  находятся вблизи границы перехода от слабого к умеренному ВСВ ( $\beta = 0,052 \dots, 0,071 \text{ с}^{-1}$ ). Наименьшие значения  $\bar{\beta}$  в среднем за сутки наблюдаются зимой ( $0,057 \text{ с}^{-1}$ ), а наибольшие – летом ( $0,068 \text{ с}^{-1}$ ), весной и осенью они одинаковы ( $0,060 \text{ с}^{-1}$ ). В суточном ходе наибольшие значения ВСВ приходятся зимой и осенью на утренние часы ( $0,069$  и  $0,066 \text{ с}^{-1}$ ), а весной и летом – на вечерние и ночные часы ( $0,060$  и  $0,071 \text{ с}^{-1}$ ).

Таблица 4.3

Статистические характеристики ВСВ для слоя 10–40 м

Сезон		Зима ( $n = 1973$ )				Весна ( $n = 2747$ )			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,069	0,052	0,052	0,053	0,059	0,059	0,060	0,060
	$C(\beta)$	0,68	0,79	0,82	0,71	0,74	0,80	0,81	0,68
	$A(\beta)$	1,52	1,72	2,01	1,45	1,93	3,97	2,68	1,21
	$E(\beta)$	4,74	4,33	5,80	3,18	7,38	40,76	13,38	2,33
	$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,228	0,209	0,227	0,200	0,243	0,384	0,279	0,232
	$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,337	0,271	0,299	0,246	0,359	0,750	0,433	0,290
Сезон		Лето ( $n = 3352$ )				Осень ( $n = 3051$ )			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,066	0,067	0,070	0,071	0,066	0,057	0,060	0,060
	$C(\beta)$	0,66	0,70	0,76	0,65	0,75	0,86	0,68	0,73
	$A(\beta)$	1,11	1,92	2,11	1,16	2,21	2,73	1,20	1,51
	$E(\beta)$	1,59	7,79	6,41	1,60	10,40	14,07	1,56	3,68
	$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,203	0,376	0,311	0,246	0,281	0,366	0,180	0,247
	$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,258	0,429	0,339	0,290	0,453	0,473	0,230	0,310

Такой результат по значениям  $\bar{\beta}$  явился несколько неожиданным. Учитывая слабые средние скорости ветра в районе ВПП аэропорта «Манас», можно было бы ожидать, что ВСВ не выйдут за пределы градации «слабых сдвигов». Видимо, заметную роль в уве-



личении ВСВ сыграл тот факт, что векторный сдвиг формируется в изучаемом районе одновременно под действием изменения и модуля, и направления ветра.

Статистические распределения ВСВ во все рассматриваемые сезоны года и во все периоды суток имеют в целом одинаковый характер.

Таблица 4.4

Статистические характеристики ВСВ для слоя 10–30 м

Сезон		Зима ( $n = 1942$ )				Весна ( $n = 2730$ )			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,099	0,074	0,076	0,085	0,090	0,098	0,095	0,088
	$C(\beta)$	0,75	0,79	0,78	0,68	0,65	0,76	0,79	0,66
	$A(\beta)$	0,94	1,53	1,39	0,80	1,01	2,96	2,17	0,94
	$E(\beta)$	1,19	4,23	2,56	0,81	2,18	24,79	7,90	1,36
	$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,299	0,325	0,259	0,268	0,295	0,561	0,471	0,278
	$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,436	0,423	0,338	0,317	0,379	1,057	0,550	0,394
Сезон		Лето ( $n = 3332$ )				Осень ( $n = 2979$ )			
Время суток		Утро	День	Вечер	Ночь	Утро	День	Вечер	Ночь
Параметры ВСВ	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,090	0,109	0,099	0,104	0,082	0,089	0,091	0,089
	$C(\beta)$	0,64	0,74	0,70	0,62	0,66	0,86	0,67	0,70
	$A(\beta)$	1,26	1,70	1,67	1,62	0,83	2,74	1,15	1,14
	$E(\beta)$	2,97	5,45	4,59	6,25	1,03	15,84	2,99	2,16
	$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,292	0,546	0,370	0,403	0,250	0,565	0,307	0,336
	$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,362	0,725	0,436	0,517	0,304	0,744	0,435	0,395

Таблица 4.5

Отношение  $k = \bar{\beta}(10 - 30) / \bar{\beta}(10 - 40)$  для сезонов и различного времени суток

Время года	Время суток				Среднее за сутки
	Утро	День	Вечер	Ночь	
Зима	1,43	1,43	1,46	1,59	1,48
Весна	1,52	1,65	1,58	1,46	1,55
Лето	1,36	1,64	1,43	1,46	1,47
Осень	1,24	1,58	1,51	1,50	1,46

Распределения  $\beta$  сильно правоасимметричны ( $A(\beta) > 1,1-4,0$ ), островершинны ( $E(\beta) = 1,6$  и более) и поэтому не могут быть описаны нормальным законом. Одновременно с этим изменчивость  $\beta$  относительно своих средних значений  $\bar{\beta}$  также велика. В среднем за сутки значение  $C(\beta)$  наибольшее весной ( $C(\beta) = 0,76$ ), а наименьшее летом ( $C(\beta) = 0,69$ ), зимой и осенью  $C(\beta)$  равен 0,75. В течение суток коэффициент вариации изменяется (все сезоны года) в пределах  $C(\beta) = 0,65 \dots, 0,86$ . Это свидетельствует о том, что функция плотности вероятностей  $f(\beta)$  имеет длинную правую ветвь, сначала резко спадающую с оси  $x$ , а затем медленно сближающуюся с ней, что схематически показано на рис. 4.7. В результате в отдельных случаях индивидуальные  $\beta_i$  могут существенно превышать средние значения  $\bar{\beta}$ .

Средние из максимальных сдвигов ветра во все сезоны и периоды суток попадают в градацию сильных и очень сильных сдвигов ветра (табл. 4.3) по шкале ИКАО

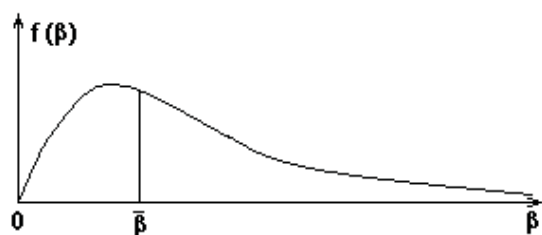


Рис. 4.7. Качественный вид функции плотности вероятностей  $f(\beta)$

(табл. 4.1). Зимой  $\bar{\beta}_m = 0,20\text{--}0,23 \text{ с}^{-1}$ , с максимальным значением, приходящимся на утренние и вечерние часы. Весной и летом значения  $\bar{\beta}_m$  наибольшие в году и находятся в пределах от  $0,20\text{--}0,25 \text{ с}^{-1}$  (утром или ночью) до  $0,38 \text{ с}^{-1}$  (днем). Осенью  $\bar{\beta}_m = 0,37 \text{ с}^{-1}$  – днем, а уже вечером оно опускается до  $0,18 \text{ с}^{-1}$ .

Значения абсолютных максимумов  $\beta_m$  могут превышать  $\bar{\beta}_m$  примерно в 2 раза (табл. 4.3). Так,  $\beta_m$  для зимнего периода соответствуют  $0,25\text{--}0,34 \text{ с}^{-1}$ , для летнего и осеннего периодов –  $0,26\text{--}0,47 \text{ с}^{-1}$ , а весной могут достигать  $0,75 \text{ с}^{-1}$ , что, возможно, объясняется наличием в это время двух видов сдвига ветра – горизонтального и вертикального. Суточный ход  $\beta_m$  аналогичен ходу  $\bar{\beta}_m$ .

Рассмотренные сдвиги ветра определялись по измерениям анемометров на высоте 10 м (мачта) и ветром на «середине первого слоя» – 40 м по шаропилоту. Рассчитанные сдвиги ветра для слоя 10–30 м (анемометр – анемометр) оказались примерно в 1,5 раза выше по всем сезонам в целом (табл. 4.4 и 4.5), а по времени суток находились в пределах  $1,24 \dots, 1,65$  [26].

Такие расхождения могут объясняться следующими причинами: 1) влиянием различных методик измерений ветра с осреднением по времени (анемометр) и по слою (шаропилот); 2) значительной удаленностью мачты (10 м) и диспетчерской вышки (30 м) – около 2 км (см. рис. 3.1), т.е. разнесенностью измерений по горизонтали с возможным влиянием зданий аэропорта и самой вышки на показания анемометра; 3) увеличением  $\beta$  за счет меньшей толщины слоя 10–30 м, равной 20 м; 4) реальными особенностями режима сдвига в районе ВПП «Манас».

Наиболее просто было попытаться исключить причину №3. Используя данные работы [42], рассчитанные значения  $\bar{\beta}$  для слоя 10–30 м были «приведены» к слою 10–40 м (см. п. 4.2). Однако поправка оказалась малой, всего  $0,01 \text{ с}^{-1}$ , что не дало заметного результата, возможно ввиду того, что зависимости работы [42] непоказательны для условий аэропорта «Манас». В то же время влияние различных методик измерений ветра, по-видимому, оказалось несущественным, что показано в работах [16, 17, 25, 26]. Остается признать значимой либо причину №2 – искажение результатов измерений за счет значительной удаленности анемометров, влияние диспетчерской вышки и других сооружений, либо все же это реальное отражение специфики режима сдвига ветра в нижнем приземном слое района ВПП аэропорта «Манас». Скорее всего, имеет место наложение и того, и другого. Внести полную ясность в этот вопрос можно только путем организации специальных измерений ветра.

Полученные выводы в целом согласуются с имеющимися в публикациях по ВСВ [1, 28, 31, 32, 36–42, 55, 89] (см. п. 4.1). Так, по наблюдениям на высотной метеорологической мачте в Обнинске [37, 41, 42] лишь около 3% ВСВ попадают в градацию сильных и очень сильных, тогда как 80% – в градацию слабых. Но именно редкие сильные и очень сильные сдвиги создают предпосылки летных происшествий или обусловили целый ряд таких происшествий [106].

Таким образом, в приземном слое 10–40 м средние ВСВ во все сезоны года и время суток находятся в пределах 0,05–0,10 с<sup>-1</sup>, что соответствует границе перехода от слабых к умеренным сдвигам по шкале ИКАО. Изменчивость ВСВ в слое 10–40 м велика ( $C(\beta) = 0,7–0,8$ ), а их статистические распределения сильно правоасимметричны и островершинны. Максимальные сдвиги ветра в слое 10–40 м в любой из сезонов года и в любое время суток могут достигать более 0,21 с<sup>-1</sup>, что соответствует очень сильным сдвигам ветра по шкале ИКАО.

Рассчитанные сдвиги ветра для слоя 10–30 м (анемометр – анемометр) примерно в 1,5 раза выше, чем в слое 10–40 м (анемометр – шаропилот). Полученные расхождения, возможно, можно объяснить искажением результатов измерений для слоя 10–30 м за счет значительной горизонтальной удаленности анемометров, а также специфики режима сдвига ветра в нижнем приземном слое района ВПП аэропорта «Манас».

#### **4.4. Повторяемость различных градаций и вероятные максимальные значения вертикальных сдвигов ветра в слое 10–40 м**

Представляется важным в дополнении результатов п. 4.3 рассмотреть вопрос о повторяемости различных градаций и рассчитанных вероятных максимальных значениях вертикальных сдвигов ветра в слое 10–40 м. В данном пункте анализируются: 1) повторяемости различных градаций ВСВ в критериях опасности (слабый, сильный, умеренный и очень сильный сдвиг); 2) максимальные вероятностные значения ВСВ, соответствующие квантилям для обеспеченностей 0,80, 0,90, 0,95, 0,99, 0,999; 3) максимальные вероятностные значения ВСВ, имеющие повторяемость 1 раз в 1 год, 5, 10, 20, 50 и 100 лет.

Рассматриваемые характеристики получены как результат аппроксимации 16 эмпирических распределений (соответствующих четырем временам года – зима, весна, лето, осень и четырем периодам суток – утро, день, вечер и ночь) теоретическим законом Пуассона. Были использованы следующие законы: Пуассона, экспоненциальный и гамма-распределение. Оказалось, что как по виду гистограмм эмпирических выборок, так и по критериальной оценке их соответствия этим теоретическим распределениям лучший результат дает аппроксимация законом редких событий Пуассона. Она и была использована для окончательного анализа.

Как известно [108], все основные свойства закона Пуассона выражаются через единственную статистику – среднее значение  $\bar{x}$ . Вероятность  $p_n(x)$  того, что случайная величина в результате испытания в выборке объема  $n$  примет значение  $x$ :

$$p_n(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}, \quad (4.8)$$

где  $\lambda = \bar{x}$  – единственный параметр  $p_n(x)$ , при этом  $\lambda = \mu_2 = \mu_3$  (второй и третий центральные моменты распределения (4.8)).

Формула (4.8) показывает, как распределены отдельные вероятности  $p_n(x)$ , когда  $x$  будет принимать точно одно из своих возможных дискретных значений, равных 0, 1, 2 ...,  $n$ .

Интегральным законом Пуассона будет функция  $F_n(x)$ :

$$F_n(x) = \sum_n p_n(x). \quad (4.9)$$

Функция  $p_n(x)$  в зависимости от  $\bar{x}$  может иметь вид одномодальной правоасимметричной кривой или обратной экспоненты, как это показано на рис. 4.8. Гистограммы всех исходных выборок имеют вид обратной экспоненты (рис. 4.8, б).

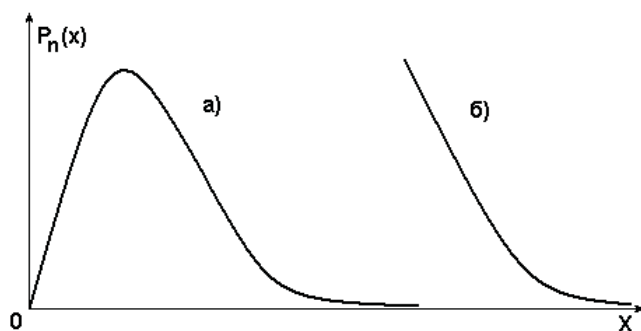


Рис. 4.8. Два характерных вида графика  $p_n(x)$ : а) возможный модальный; б) наблюдающийся в выборках  $\beta$  обратно экспоненциальный

Пример аппроксимации эмпирического распределения  $\beta$  для летнего периода года (время суток – утро) представлен в табл. 4.6. Необходимые расчеты вели по следующей схеме. Сначала величины ВСВ группировали по критериям опасности в классы, находили середину класса и число случаев (частоты) для каждого класса (столбцы 1, 2 и 3 табл. 4.6). Затем были рассчитаны эмпирические частоты классов  $P_{i\beta}$  (статистические вероятности) и их накопленные частоты  $F_{i\beta}$  (обеспеченности) по исходной выборке (столбцы 4 и 5).

Переменная  $x$  в законе Пуассона является дискретной и должна принимать значения  $0, 1, 2, \dots, n$ . Переход к такой переменной  $x_i$  (столбец 6) легко может быть сделан путем линейного преобразования, не меняющего асимметрию и эксцесс исходной выборки:

$$x_i = \frac{\bar{\beta}_i - \bar{\beta}_0}{\Delta\beta}, \quad (4.10)$$

где  $\bar{\beta}_i$  – середина  $i$ -го класса,  $\bar{\beta}_0 = 0,035 \text{ с}^{-1}$  – середина первого класса,  $\Delta\beta = 0,069 \text{ с}^{-1}$  – ширина класса.

Приближенным критерием применимости (4.8) и (4.9) для аппроксимации выборки является примерное равенство среднего значения  $\bar{x}$  и дисперсии  $s^2 = \mu_2$ . Значения  $\bar{x}$  и  $s^2 = \mu_2$ , рассчитанные в условной переменной  $x_i$  приведены внизу столбцов 7 и 8. Как видно,  $\bar{x} \approx \mu_2$  и можно ожидать приемлемой аппроксимации выборки законом (4.8) и (4.9). В столбцах 9–11 приведены рассчитанные по этим формулам (с использованием программы Excel) аппроксимированные вероятности  $P_{ia}$ , обеспеченности  $F_{ia}$  и теоретические частоты классов  $n_{ia}$ .

Как следует из табл. 4.6, частоты  $n_{i\beta}$  и  $n_{ia}$  согласуются. Особенно наглядно это представлено на рис. 4.9, где приведена эмпирическая гистограмма  $P_{i\beta}$  и выравнивающая кривая  $P_{ia}$ . На поле графика показана проверка соответствия эмпирического и теоретического законов с помощью двух критериев –  $\chi^2$  Пирсона и  $\lambda$  Колмагорова – Смирнова на уровне значимости 0,05 (уровень доверительной вероятности 0,95). Она показывает, что на уровне доверительной вероятности 0,95 можно считать, что распределение сдвигов ветра соответствует найденному закону Пуассона ( $\chi_{эм}^2 < \chi_{0,05}^2$ ;  $\lambda_{эм} < \lambda_{0,05}$ ).

По значениям обеспеченностей  $F_{ia}$  были найдены периоды превышения в годах верхних границ классов ВСВ –  $T_{ia}$  (столбец 12) по очевидной формуле

$$T_{ia} = \frac{1}{\bar{v}_i} = \frac{1}{\bar{n}_{i\beta}(1 - F_{ia})}, \quad (4.11)$$

где  $\bar{v}_i$  – средняя сезонная частота превышения  $\beta$ , соответствующего верхней границе классов  $\beta_i$ ,  $\bar{n}_{i\beta}$  – средний годовой объем выборки  $\bar{n}_{i\beta} = \sum n_{i\beta} / N$  для данного сезона и времени суток ( $N$  – число лет наблюдений).

Таблица 4.6

Аппроксимация законом редких событий Пуассона эмпирического распределения  $\beta$  (лето, утро) для слоя 10–40 м

Выборка и ее эмпирические характеристики														Аппроксимация				Вероятность возникновения $\beta_{Ta}, c^{-1}$ 1 раз в:		Квантиль	
Класс $\beta, c^{-1}$	$\bar{\beta}_i, c^{-1}$	$n_{i3}$	$P_{i3}$	$F_{i3}$	$x_i$	$x_i \cdot n_{i3}$	$x_i^2 \cdot n_{i3}$	$P_{ia}$	$F_{ia}$	$n_{ia}$	$T_{ia}, \text{ лет}$	$\beta_{Ta}, c^{-1}$	1 раз в:	Уровень	$\beta_{Fa}, c^{-1}$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16						
0–0,069	0,035	285	0,6291	0,6291	0	0	0	0,6417	0,6417	290,7	0,03	1 год	0,205	0,800	0,108						
0,069–0,139	0,104	138	0,3046	0,9338	1	138	138	0,2847	0,9264	128,9	0,15	5 лет	0,241	0,900	0,133						
0,139–0,209	0,174	27	0,0596	0,9934	2	54	108	0,0632	0,9895	28,6	1,05	10 лет	0,279	0,950	0,165						
0,209–0,279	0,244	3	0,0066	1	3	9	27	0,0093	0,9988	4,2	9,72	50 лет	0,307	0,990	0,213						
0,279–0,349	0,314	0	0	1	4	0	0	0,0010	0,9998	0,5	111,24	100 лет	0,341	0,999	0,288						
0,349–0,419	0,384	0	0	1	5	0	0	0,0001	0,9999	0,0	1520,96										
0,419–0,489	0,454	0	0	1	6	0	0	0	1	0	24193,50										
Сумма		453	1			201	273			452,9											
Среднее						0,4437	0,6026														
S <sup>2</sup>						0,4058															

Обозначения:  $\bar{\beta}_i$  – середина класса; дифференциальные, интегральные (накопленные) повторяемости и число случаев –  $P_{i3}$ ,  $F_{i3}$  и  $n_{i3}$  по выборке,  $P_{ia}$ ,  $F_{ia}$  и  $n_{ia}$  – по Пуассону;  $x_i$  – дискретная переменная по Пуассону;  $T_{ia}$  – периоды превышения в годах верхних границ классов ВСВ;  $\beta_{Ta}$  – вероятность возникновения ВСВ в годах, соответствующих верхним границам классов  $\beta$ ;  $\beta_{Fa}$  – квантильные значения;  $S^2$  – выборочная дисперсия.

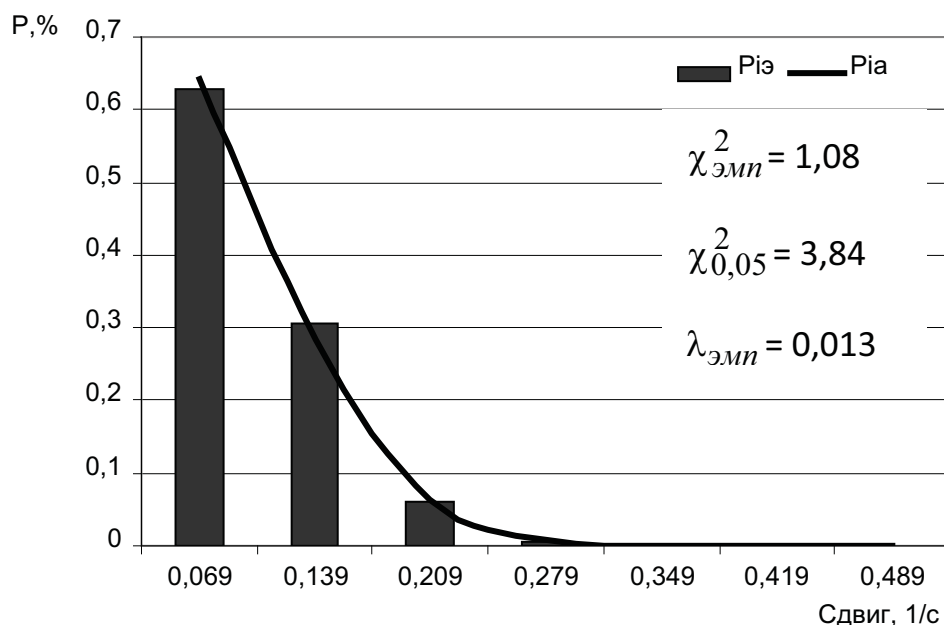


Рис. 4.9. Эмпирическая гистограмма  $P_{ia}$  и выравнивающая кривая  $P_{ia}$  VCB (лето, утро), значения критериев  $\chi^2$  Пирсона и  $\lambda$  Колмагорова – Смирнова с уровнем значимости 0,05 для слоя 10–40 м

Покажем вычисление  $T_{ia}$  для верхней границы первого класса на примере табл. 4.6. Имеем:  $\sum n_{i3} = 453$ , число лет  $TN = 5$ ,  $\bar{n}_{i3} = 453/5 = 90,60$ ;  $F_{ia} = 0,6417$ . Тогда по (4.11)  $T_{ia} = \frac{1}{90,60 \cdot (1 - 0,6417)} = \frac{1}{32,46} = 0,03$  года (11 дней). Это значит, что в среднем через каждые 0,03 года (11 дней) утром в летний период года будут наблюдаться значения  $\beta_{ia} \geq 0,069 \text{ с}^{-1}$ .

Используя найденные  $T_{ia}$ , соответствующие верхним границам классов, линейной интерполяцией получим значения  $\beta_{Ta}$ , вероятные 1 раз в 1 год, 5, 10, 50 и 100 лет (столбцы 13 и 14). Разумеется, значения  $\beta_{Ta}$  для повторяемостей 1 раз в 50 и 100 лет следует принимать как сугубо ориентировочные, учитывая длительность исходной выборки всего в 5 лет.

Кроме этого, интерполяционным путем по верхним границам классов  $\beta_i$  и соответствующим им  $F_{ia}$  рассчитаны квантильные значения  $\beta_{Fa}$  для уровней квантилей – 0,80, 0,90, 0,95, 0,99, 0,999, которые приведены в столбцах 15 и 16 табл. 4.6.

Во всех 16 аппроксимациях критериальное (по  $\lambda$  Колмагорова – Смирнова) соответствие выборок  $P_{i3}(F_{i3})$  и их аппроксимаций законом Пуассона  $P_{ia}(F_{ia})$  оказалось удовлетворительным на уровне доверительной вероятности 0,95. Это также подтверждают данные приложения 8, где приведены эмпирические и аппроксимированные вероятности классов и их обеспеченности. Поэтому в дальнейшем весь анализ выполнен для аппроксимированных значений (табл. 4.7, 4.8):

- повторяемостей градаций  $\beta$  (их вероятностей –  $P_{ia}$ );
- максимальных вероятностных значений  $\beta$ , возможных 1 раз в 1 год, 5, 10, 50 и 100 лет ( $\beta_1, \beta_5, \beta_{10}, \beta_{50}, \beta_{100}$ );
- максимальных вероятностных значений  $\beta$  с обеспеченностью 0,80, 0,90, 0,95, 0,99, 0,999 ( $\beta_{0,80}, \beta_{0,90}, \beta_{0,95}, \beta_{0,99}, \beta_{0,999}$ ).



### Повторяемость градаций классов $\beta$

*Зима.* Как видно из табл. 4.7, в зимний период года повторяемость слабых ВСВ в течение суток велика и составляет 62–76%, с несколько большим значением днем, вечером и ночью. Умеренные сдвиги наблюдаются уже в пределах от 21–22% (днем, вечером и ночью) до 30% (утром), сильные составляют всего 3–7%, и очень сильные имеют вероятность только в пределах 0,3–1,3%. При этом утром вероятность возникновения сильных (7%) и очень сильных (1,3%) ВСВ больше, чем в другое время суток (днем, вечером и ночью) примерно в два-четыре раза.

*Весна.* Повторяемость градаций ВСВ мало меняется в течение всех периодов суток.  $P_{ia}$  слабых ВСВ так же, как и зимой, велика – 68–70%, умеренные сдвиги наблюдаются в пределах 25–26%, сильные составляют около 5%. Очень сильные сдвиги, как и зимой, регистрируются – редко в 0,6–0,7% случаев.

*Лето.* Повторяемость слабых сдвигов летом несколько ниже, чем зимой и весной, и составляет от 59% (ночь) до 64% (утро). Повторяемость умеренных, сильных и очень сильных ВСВ, напротив, несколько увеличивается. Так, значение  $P_{ia}$  умеренных ВСВ мало меняется в течение суток – 29–31%. Сильные и очень сильные сдвиги более вероятны ночью (8 и 1,6% соответственно), а менее вероятны утром (6 и 1%), днем и вечером их повторяемость находится соответственно в пределах 7–7,4% и 1,3–1,4%.

*Осень.* Распределение повторяемостей каждой градации ВСВ близко к зимней. Так,  $P_{ia}$  слабых ВСВ находится в пределах 63–71%, умеренных – 24–29%, сильных – 4–7% и очень сильных 0,5–1,1%. При этом, как и зимой, утром наблюдается несколько меньшая вероятность слабых ВСВ, а умеренных, сильных и осень сильных, напротив, больше, чем в другие периоды суток (день, вечер, ночь).

Таблица 4.7

Повторяемость градаций ВСВ (%) в различные периоды года  
и различные часы суток для слоя 10–40 м

Время суток	Критерий сдвига	Верхняя граница класса $\beta_p, c^{-1}$	Повторяемость (%) по сезонам			
			Зима	Весна	Лето	Осень
Утро	Слабый	0,069	62,1	69,6	64,2	63,2
	Умеренный	0,139	29,6	25,2	28,5	29,0
	Сильный	0,209	7,1	4,6	6,3	6,7
	Очень сильный	>0,210	1,3	0,6	1,0	1,1
	Объем выборки $n$		258	378	453	403
День	Слабый	0,069	74,7	68,4	62,1	70,8
	Умеренный	0,139	21,8	26,0	29,6	24,4
	Сильный	0,209	3,2	4,9	7,0	4,2
	Очень сильный	>0,210	0,3	0,7	1,3	0,5
	Объем выборки $n$		683	1233	1656	1072
Вечер	Слабый	0,069	76,0	68,0	61,1	69,6
	Умеренный	0,139	20,9	26,2	30,1	25,2
	Сильный	0,209	2,9	5,1	7,4	4,6
	Очень сильный	>0,210	0,3	0,7	1,4	0,6
	Объем выборки $n$		360	407	438	417
Ночь	Слабый	0,069	74,4	68,1	59,3	69,0
	Умеренный	0,139	22,0	26,2	31,0	25,6
	Сильный	0,209	3,3	5,0	8,1	4,7
	Очень сильный	>0,210	0,3	0,7	1,6	0,6
	Объем выборки $n$		672	729	805	1159

Таблица 4.8

Рассчитанные вероятные значения максимальных сдвигов ветра ( $c^{-1}$ )  
 для различных уровней квантилей – 0,80 ..., 0,999  
 и периодов повторения 1 раз в 1 год ..., 100 лет для слоя 10–40 м

Сезон	Время суток	Вероятность возникновения ВСВ 1 раз в:					Уровень квантиля ВСВ					Фактические максимумы за 5 лет	
		1 год	5 лет	10 лет	50 лет	100 лет	0,80	0,90	0,95	0,99	0,999	средние $\beta_{м}, c^{-1}$	абсолютные $\beta_{м}, c^{-1}$
Зима	Утро	0,180	0,230	0,260	0,299	0,327	0,111	0,135	0,172	0,226	0,304	0,228	0,337
Весна		0,166	0,218	0,233	0,285	0,296	0,098	0,126	0,142	0,203	0,273	0,243	0,359
Лето		0,205	0,241	0,279	0,307	0,341	0,108	0,133	0,165	0,213	0,288	0,203	0,258
Осень		0,203	0,241	0,279	0,308	0,344	0,110	0,134	0,168	0,219	0,296	0,281	0,453
Зима	День	0,167	0,216	0,228	0,282	0,289	0,086	0,118	0,134	0,194	0,262	0,209	0,271
Весна		0,214	0,263	0,282	0,318	0,350	0,100	0,127	0,148	0,205	0,275	0,384	0,750
Лето		0,238	0,289	0,307	0,357	0,370	0,111	0,135	0,172	0,225	0,303	0,376	0,429
Осень		0,210	0,239	0,276	0,299	0,323	0,095	0,124	0,138	0,201	0,271	0,366	0,473
Зима	Вечер	0,148	0,209	0,214	0,256	0,281	0,083	0,116	0,133	0,192	0,258	0,227	0,299
Весна		0,176	0,223	0,244	0,289	0,305	0,101	0,128	0,150	0,205	0,276	0,279	0,433
Лето		0,211	0,258	0,282	0,326	0,352	0,113	0,136	0,175	0,231	0,310	0,311	0,339
Осень		0,170	0,219	0,237	0,286	0,298	0,098	0,126	0,142	0,159	0,273	0,180	0,230
Зима	Ночь	0,168	0,216	0,229	0,282	0,289	0,087	0,119	0,135	0,195	0,263	0,200	0,246
Весна		0,209	0,239	0,277	0,301	0,329	0,101	0,128	0,149	0,205	0,275	0,232	0,290
Лето		0,225	0,284	0,297	0,353	0,365	0,116	0,138	0,180	0,239	0,319	0,246	0,290
Осень		0,212	0,254	0,281	0,311	0,349	0,099	0,126	0,145	0,204	0,274	0,247	0,310

Таким образом, в году повторяемость слабых  $\beta$  велика и составляет 59–76%, умеренных – 21–31% и сильных – 3–8%, очень сильные сдвиги наблюдаются весьма редко – от 0,3 до 1,6%. При этом в течение года наименьшие значения  $P_{ia}$  для слабых ВСВ отмечаются зимой утром, а наибольшие – зимой вечером. Умеренные, сильные и очень сильные сдвиги имеют наибольшую повторяемость летом ночью, а наименьшую – зимой вечером.

**Максимальные значения  $\beta$  различных периодов повторения.** В табл. 4.8 приведены рассчитанные вероятные значения максимальных сдвигов ветра для различных периодов повторения  $\beta_{Ta}$  для слоя 10–40 м. Там же для сравнения даны фактические максимумы  $\beta$  по выборкам.

*Зима.* Как видно из табл. 4.8, максимальные ВСВ в зимний период 1 раз в год могут достигать значений  $\beta_1 \geq 0,148\text{--}0,180\text{ с}^{-1}$ , раз в 5 лет –  $\beta_5 \geq 0,209\text{--}0,230\text{ с}^{-1}$ , раз в 10 лет –  $\beta_{10} \geq 0,214\text{--}0,260\text{ с}^{-1}$ . Значения  $\beta_{50}$  и  $\beta_{100}$  составляют 0,256–0,299 и 0,281–0,327  $\text{с}^{-1}$  соответственно. Фактические максимумы за 5 лет составили:  $\bar{\beta}_m = 0,200\text{--}0,228\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_m = 0,246\text{--}0,337\text{ с}^{-1}$ .

В оперативной деятельности при оценке максимально возможных сдвигов, видимо, следует ориентироваться на вероятные 1 раз в год и, как предельно возможные, на вероятные 1 раз в 10 лет. Как и следовало ожидать, между их значениями нет очень больших различий.  $\beta_{50}$  и  $\beta_{100}$ , как уже отмечалось, надо рассматривать как сугубо ориентировочные значения.

*Весна.* Вероятные максимальные значения  $\beta$  несколько выше, чем зимой. Так,  $\beta_1$  находятся в пределах 0,166–0,204  $\text{с}^{-1}$ ,  $\beta_5 = 0,218\text{--}0,263\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{10} = 0,233\text{--}0,282\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{50} = 0,285\text{--}0,318\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{100} = 0,296\text{--}0,350\text{ с}^{-1}$ . Значения  $\beta_{Ta}$  наибольшие днем и ночью. Вероятностные значения в целом хорошо сочетаются с фактическими максимальными ВСВ ( $\bar{\beta}_m = 0,232\text{--}0,384\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_m = 0,290\text{--}0,433(0,750)\text{ с}^{-1}$ ).

*Лето.* Рассчитанные  $\beta_{Ta}$  имеют более высокие значения, как и весной, приходящиеся на день и ночь. Кроме этого, полученные  $\beta_{Ta}$  также хорошо сочетаются с фактическими максимальными значениями  $\beta$  ( $\bar{\beta}_m = 0,203\text{--}0,376\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_m = 0,258\text{--}0,429\text{ с}^{-1}$ ). Так,  $\beta_1 = 0,205\text{--}0,238\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_5 = 0,241\text{--}0,289\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{10} = 0,279\text{--}0,307\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{50} = 0,307\text{--}0,357\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{100} = 0,341\text{--}0,370\text{ с}^{-1}$ .

*Осень.*  $\beta_1 \geq 0,170\text{--}0,212\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_5 = 0,219\text{--}0,254\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{10} = 0,237\text{--}0,281\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{50} = 0,286\text{--}0,311\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{100} = 0,298\text{--}0,349\text{ с}^{-1}$ . Эти значения практически соответствуют  $\beta_{Ta}$  весеннего периода, но наибольшие значения приходится на ночное время суток. Как и в остальные периоды года, рассчитанные вероятностные значения в целом хорошо сочетаются с фактическими максимальными ВСВ ( $\bar{\beta}_m = 0,180\text{--}0,366\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_m = 0,230\text{--}0,473\text{ с}^{-1}$ ).

Таким образом, в каждый из сезонов 1 раз в 1 год, в 5, 10, 50 и 100 лет максимальные ВСВ могут достигать и превышать значения:  $\beta_1 = 0,148\text{--}0,238\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_5 = 0,209\text{--}0,289\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{10} = 0,214\text{--}0,307\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{50} = 0,256\text{--}0,357\text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{100} = 0,281\text{--}0,370\text{ с}^{-1}$ . При этом более высокие значения  $\beta_{Ta}$  наблюдаются: зимой – утром, весной и летом – днем, осенью – ночью. Вероятностные ВСВ хорошо согласуются с фактическими максимальными значениями.

**Максимальных значений  $\beta$  различной обеспеченности.** В табл. 4.8 также приведены рассчитанные вероятные значения максимальных сдвигов ветра  $\beta_{Fa}$  для различных уровней квантилей – 0,80, 0,90, 0,95, 0,99, 0,999. Следует заметить, что если ВСВ заданного периода повторения соответствуют значениям «равным или большим» рассчитанным  $\beta_{Ta}$ , то значения ВСВ заданного уровня квантиля (обеспеченности) соответствуют «меньшим или равным» рассчитанным  $\beta_{Fa}$ .

*Зима.* Максимальные ВСВ (табл. 4.8) с вероятностью 80% ( $\beta_{0,80}$ ) и 90% ( $\beta_{0,90}$ ) будут не более 0,083–0,111 и 0,116–0,135  $\text{с}^{-1}$  соответственно, т.е. будут слабыми или уме-

ренными,  $\beta_{0,95}$  не превысит 0,133–0,172 с<sup>-1</sup> (т.е. попадут в градацию сильных), а  $\beta_{0,99}$  и  $\beta_{0,999}$  – 0,192–0,226 и 0,258–0,304 с<sup>-1</sup> (соответствуют очень сильным ВСВ). При этом наибольшие их значения будут наблюдаться утром. Рассчитанные значения хорошо согласуются с фактическими максимальными значениями ВСВ ( $\bar{\beta}_m = 0,200$ –0,228 с<sup>-1</sup>,  $\beta_m = 0,246$ –0,337 с<sup>-1</sup>).

*Весна.*  $\beta_{Fa}$  несколько ниже зимних. Так,  $\beta_{0,80} \leq 0,098$ –0,101 с<sup>-1</sup> (умеренные),  $\beta_{0,90} \leq 0,126$ –0,128 с<sup>-1</sup> (также умеренные),  $\beta_{0,95} \leq 0,145$ –0,150 с<sup>-1</sup> (сильные),  $\beta_{0,99} \leq 0,203$ –0,205 с<sup>-1</sup> (также сильные) и  $\beta_{0,999}$  не превысит 0,273–0,276 с<sup>-1</sup> (очень сильные). В целом имеет место соответствие квантильных значений и фактических максимумов ВСВ ( $\bar{\beta}_m = 0,232$ –0,384 с<sup>-1</sup>,  $\beta_m = 0,290$ –0,433 (0,750) с<sup>-1</sup>).

*Лето.* Квантильные значения  $\beta_{Fa}$  летом наибольшие в течение всего года, особенно в ночное время суток. Они также хорошо сочетаются с фактическими максимальными значениями ВСВ ( $\bar{\beta}_m = 0,203$ –0,376 с<sup>-1</sup>,  $\beta_m = 0,258$ –0,429 с<sup>-1</sup>). С вероятностью 80–90% максимальные  $\beta$  не будут больше умеренных ( $\beta_{0,80} = 0,108$ –0,116 с<sup>-1</sup> и  $\beta_{0,90} = 0,133$ –0,138 с<sup>-1</sup>), с вероятностью 95%  $\beta_{0,95}$  не превысят 0,165–0,180 с<sup>-1</sup> (сильные),  $\beta_{0,99}$  и  $\beta_{0,999}$  будут менее 0,203–0,205 и 0,273–0,276 с<sup>-1</sup> соответственно (очень сильные).

*Осень.* Вероятностные максимальные значения ВСВ для различных уровней квантилей схожи с зимними  $\beta_{Fa}$ . Рассчитанные значения также хорошо согласуются с фактическими максимальными значениями ВСВ ( $\bar{\beta}_m = 0,180$ –0,366 с<sup>-1</sup>,  $\beta_m = 0,230$ –0,473 с<sup>-1</sup>). Так,  $\beta_{0,80} \leq 0,095$ –0,110 с<sup>-1</sup> (умеренные сдвиги),  $\beta_{0,90} \leq 0,124$ –0,134 с<sup>-1</sup> (также умеренные сдвиги),  $\beta_{0,95} \leq 0,138$ –0,168 с<sup>-1</sup> (сильные),  $\beta_{0,99} \leq 0,159$ –0,219 с<sup>-1</sup> (сильные с переходом к очень сильным) и  $\beta_{0,999}$  не превысит 0,271–0,296 с<sup>-1</sup> (очень сильные).

Таким образом, в году максимальные значения  $\beta$  с вероятностью 80–90% не превысят значений  $\beta_{0,80} = 0,083$ –0,116 с<sup>-1</sup>,  $\beta_{0,90} = 0,116$ –0,138 с<sup>-1</sup> (умеренный сдвиг ветра), с вероятностью 95% – 0,133–0,180 с<sup>-1</sup>,  $\beta_{0,99}$  и  $\beta_{0,999}$  будут соответственно не больше 0,192–0,239 с<sup>-1</sup> (сильный и очень сильный сдвиг) и 0,258–0,319 с<sup>-1</sup> (очень сильный сдвиг). При этом в течение года наибольшие значения  $\beta_{Fa}$  отмечаются: зимой и осенью – утром, весной – вечером, летом – ночью. Вероятностные значения хорошо сочетаются с фактическими максимальными ВСВ.

#### 4.5. Высотные профили вертикальных сдвигов ветра в ПГС

В настоящем пункте будут исследованы статистические характеристики высотных профилей ВСВ в пограничном слое 10–900 м. Для этого аналогично п. 4.3 были рассчитаны те же статистики ВСВ ( $\bar{\beta}$ ,  $C(\beta)$ ,  $A(\beta)$ ,  $E(\beta)$ ,  $\bar{\beta}_m$  и  $\beta_m$ ) для четырех сезонов (зима, весна, лето и осень) и периодов суток (утро, день, вечер и ночь) по слоям: 40–100, 100–200, 200–300, 300–400, 400–500, 500–600, 600–700 и 700–900 м. Полученные значения приведены в прил. 9, кроме этого, для полноты картины в них приведены данные и для приземного слоя 10–40 м.

Отметим, что большой объем выборок (сезонные выборки – 1973–3352 наблюдений, выборки по периодам суток 258 – 1656 наблюдений) соответствует слоям с высотами до 700 м. Поэтому можно считать, что получены надежные оценки статистик, по крайней мере основанных на первых двух моментах – это  $\bar{\beta}$  и  $C(\beta)$ , несколько хуже оценена асимметрия ( $A(\beta)$ ) и эксцесс ( $E(\beta)$ ). В слое 700–900 м имелись только единичные наблюдения и статистики для них отсутствуют.

В табл. 4.9 приведены статистические характеристики ВСВ ( $\bar{\beta}$ ,  $C(\beta)$ ,  $A(\beta)$ ,  $E(\beta)$ ,  $\bar{\beta}_m$  и  $\beta_m$ ) для трех наиболее важных слоев 10–40, 40–100 и 400–500 м, а на рис. 4.10 показан полный высотный профиль ВСВ. В совокупности эти данные дают полную картину характера высотных профилей ВСВ в пограничном слое над центральной частью Чуйской долины.

Таблица 4.9

Статистические характеристики ВСВ для слоев 10–40, 40–100 и 400–500 м

Время суток	Утро			День			Вечер			Ночь		
Слой, м	10–40	40–100	400–500	10–40	40–100	400–500	10–40	40–100	400–500	10–40	40–100	400–500
Зима												
$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,069	0,030	0,014	0,052	0,022	0,014	0,052	0,021	0,013	0,053	0,023	0,013
$C(\beta)$	0,68	0,85	0,87	0,79	0,84	0,85	0,82	0,77	0,75	0,71	0,79	0,95
$A(\beta)$	1,52	1,87	3,78	1,72	1,92	2,05	2,01	1,51	1,43	1,45	1,39	2,63
$E(\beta)$	4,74	5,37	27,67	4,33	6,45	7,37	5,80	3,41	3,25	3,18	2,49	11,23
$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,228	0,128	0,061	0,209	0,112	0,068	0,311	0,102	0,044	0,200	0,092	0,075
$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,337	0,173	0,120	0,271	0,154	0,100	0,339	0,137	0,064	0,246	0,107	0,106
Весна												
$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,059	0,024	0,014	0,059	0,018	0,012	0,060	0,021	0,014	0,060	0,027	0,013
$C(\beta)$	0,74	0,73	0,83	0,80	1,00	0,86	0,81	0,82	0,89	0,68	0,80	0,96
$A(\beta)$	1,93	1,74	2,02	3,97	5,93	2,12	2,68	2,14	2,24	1,21	2,69	3,64
$E(\beta)$	7,38	6,49	7,77	40,76	69,86	8,42	13,38	9,76	8,88	2,33	16,85	30,11
$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,243	0,095	0,059	0,384	0,168	0,073	0,279	0,093	0,068	0,232	0,133	0,087
$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,359	0,129	0,091	0,750	0,279	0,094	0,433	0,157	0,097	0,290	0,248	0,161
Лето												
$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,066	0,031	0,014	0,067	0,019	0,012	0,070	0,027	0,012	0,071	0,033	0,016
$C(\beta)$	0,66	0,72	0,80	0,70	0,79	0,87	0,76	0,73	0,80	0,65	0,76	0,98
$A(\beta)$	1,11	1,56	2,31	1,92	1,81	2,17	2,11	1,29	1,58	1,16	3,03	4,32
$E(\beta)$	1,59	4,14	10,08	7,79	6,45	9,10	6,41	3,14	4,16	1,60	25,44	41,15
$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,228	0,128	0,061	0,376	0,106	0,077	0,311	0,102	0,044	0,246	0,174	0,108
$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,337	0,173	0,120	0,429	0,149	0,092	0,339	0,137	0,064	0,290	0,329	0,223
Осень												
$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	0,066	0,026	0,014	0,057	0,017	0,012	0,060	0,021	0,012	0,060	0,026	0,013
$C(\beta)$	0,75	0,76	0,89	0,86	0,93	0,85	0,68	0,84	0,83	0,73	0,88	1,00
$A(\beta)$	2,21	1,56	2,60	2,73	2,17	1,67	1,20	1,78	2,87	1,51	2,99	2,91
$E(\beta)$	10,40	4,65	14,36	14,07	7,34	4,21	1,56	4,45	21,15	3,68	18,67	13,63
$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	0,281	0,096	0,067	0,366	0,094	0,060	0,180	0,084	0,054	0,247	0,175	0,093
$\beta_m, \text{с}^{-1}$	0,453	0,150	0,117	0,473	0,127	0,067	0,230	0,106	0,105	0,310	0,275	0,120

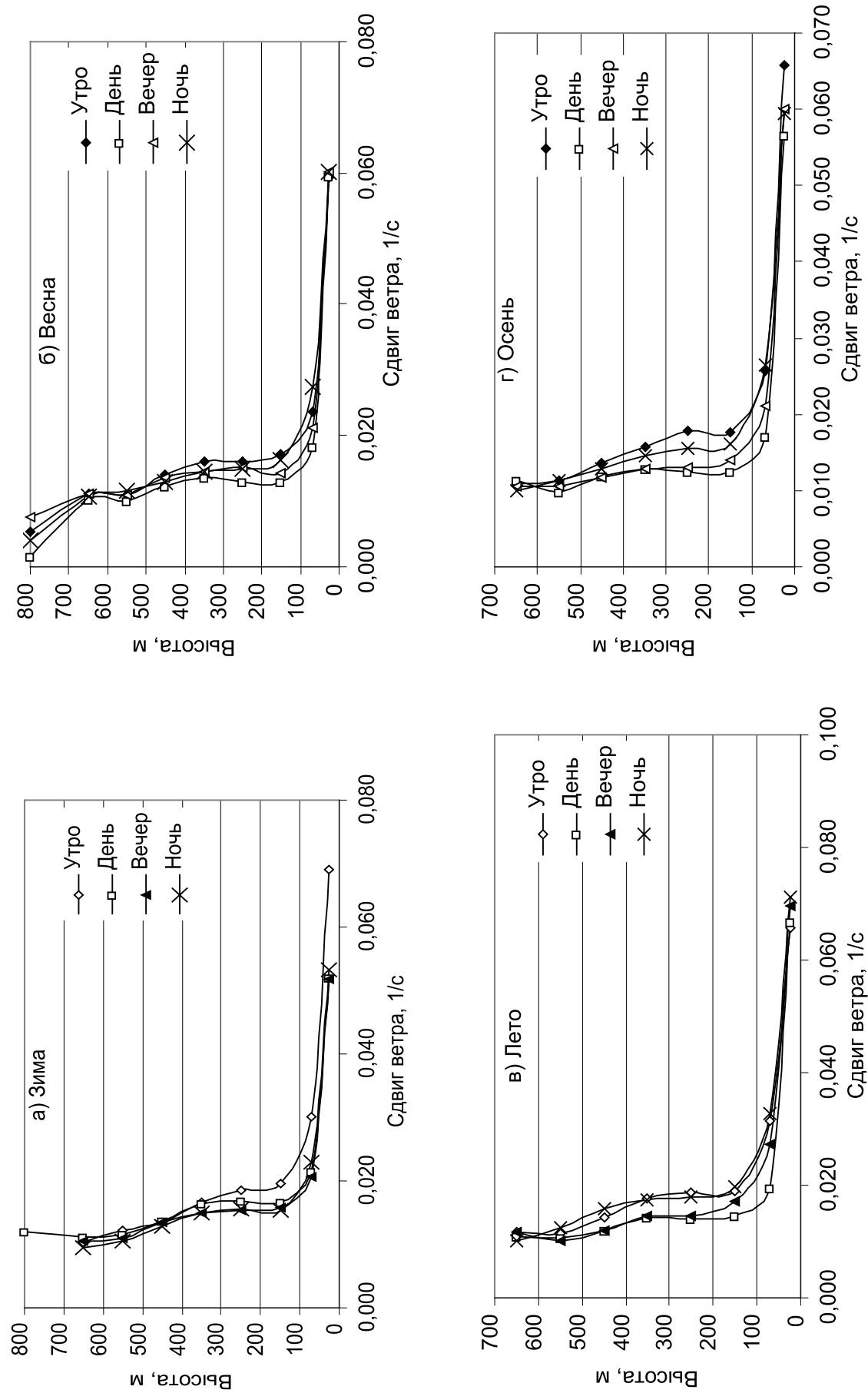


Рис. 4.10. Зависимость ВСВ от высоты в слое 10–700 (900) м (высоты ВСВ соответствуют серединам слоев)



Как видно из приведенных данных, в вертикальном ходе ВСВ независимо от сезона и времени суток совершенно четко можно выделить две высотные области с резко различной скоростью уменьшения  $\beta$  с высотой:

1) слой 10–100 м, где средние значения  $\beta$  очень быстро уменьшаются с увеличением высоты;

2) слой 100–700 (900) м, где средние значения  $\beta$  мало меняются с увеличением высоты (слабое уменьшение или колебания значений, но все это в пределах градации очень слабого сдвига).

Более детальные особенности высотных профилей ВСВ сводятся к следующему.

*Зима.* Средние значения ВСВ резко убывают от слоя 10–40 м к слою 100–200 м в пределах от  $\beta = 0,052\text{--}0,069$  до  $0,015\text{--}0,020\text{ с}^{-1}$ , т.е. приблизительно в 3 раза. При этом наиболее сильно  $\bar{\beta}$  уменьшаются утром (на  $0,049\text{ с}^{-1}$ ). Выше слоя 100–200 м значение  $\bar{\beta}$  мало изменяется с высотой во все периоды суток от  $0,019$  до  $0,009\text{ с}^{-1}$  в слое 600–700 (700–900 м).

Максимальные значения ВСВ убывают качественно по такому же закону, как и  $\bar{\beta}$ : от  $\bar{\beta}_m = 0,20\text{--}0,23\text{ с}^{-1}$  в слое 10–40 м до  $\bar{\beta}_m = 0,06\text{--}0,07\text{ с}^{-1}$  в слое 100–200 м;  $\beta_m = 0,25\text{--}0,34\text{ с}^{-1}$  (10–40 м) и  $\beta_m = 0,07\text{--}0,09\text{ с}^{-1}$  (100–200 м). Выше, к слою 600–700 м,  $\bar{\beta}_m$  уменьшаются до  $0,04\text{--}0,06\text{ с}^{-1}$ , а  $\beta_m$  – до  $0,05\text{--}0,08\text{ с}^{-1}$ . Следует отметить, что наиболее сильно, в отличие от  $\bar{\beta}$ , средние максимальные значения  $\bar{\beta}_m$  убывают от слоя 10–40 м к слою 100–200 м вечером (на  $0,17\text{ с}^{-1}$ ).

*Весна.* Средняя картина распределения ВСВ также практически не изменяется. Значения  $\bar{\beta}$  от слоя 10–40 м к слою 100–200 м меняются на  $0,04\text{--}0,05\text{ с}^{-1}$ , уменьшаясь во все периоды суток примерно от  $0,06$  до  $0,01\text{--}0,02\text{ с}^{-1}$ . В слоях, лежащих выше 200 м,  $\bar{\beta}$  практически не меняется с увеличением высоты и находится в пределах  $0,010\text{--}0,016\text{ с}^{-1}$ .

Максимальные значения  $\beta$  убывают с высотой сильнее, чем в зимний период. Так,  $\bar{\beta}_m = 0,23\text{--}0,38\text{ с}^{-1}$  (10–40 м) и  $\bar{\beta}_m = 0,07\text{--}0,09\text{ с}^{-1}$  (100–200 м), а  $\beta_m = 0,29\text{--}0,75\text{ с}^{-1}$  (10–40 м) и  $\beta_m = 0,09\text{--}0,14\text{ с}^{-1}$  (100–200 м), особенно сильно (на  $0,29$  и  $0,61\text{ с}^{-1}$ )  $\bar{\beta}_m$  и  $\beta_m$  уменьшаются днем. Выше, к слою 600–700 м,  $\bar{\beta}_m$  снижается до  $0,03\text{--}0,06\text{ с}^{-1}$ , а  $\beta_m$  – до  $0,06\text{--}0,11\text{ с}^{-1}$ , т.е.  $\beta_m$  находятся на границе слабого и умеренного ВСВ.

*Лето.* Средняя картина распределения ВСВ практически остается без изменений, хотя убывание ВСВ выражено сильнее во все периоды суток, по сравнению с зимним и весенним сезоном. Так,  $\bar{\beta} = 0,07\text{ с}^{-1}$  в слое 10–40 м убывает примерно в 3–4 раза к слою 100–200 м, где  $\bar{\beta} = 0,015\text{--}0,020\text{ с}^{-1}$ . При этом, наиболее сильное уменьшение  $\bar{\beta}$  наблюдается вечером (на  $0,053\text{ с}^{-1}$ , т.е. от  $0,070$  до  $0,017\text{ с}^{-1}$ ). К слою 600–700 м  $\bar{\beta}$  медленно уменьшается до  $0,010\text{--}0,012\text{ с}^{-1}$  в течение всех периодов суток.

Максимальные значения  $\beta$  летом выше значений зимнего и весеннего периодов, сильнее убывают с высотой. Так,  $\bar{\beta}_m = 0,20\text{--}0,38\text{ с}^{-1}$  (10–40 м) и  $\bar{\beta}_m = 0,09\text{--}0,11\text{ с}^{-1}$  (100–200 м), а  $\beta_m = 0,26\text{--}0,43\text{ с}^{-1}$  (10–40 м) и  $\beta_m = 0,13\text{--}0,16\text{ с}^{-1}$  (100–200 м), особенно сильно (на  $0,29\text{ с}^{-1}$ )  $\bar{\beta}_m$  и  $\beta_m$  уменьшаются днем. Выше, к слою 600–700 м, во все периоды суток  $\bar{\beta}_m$  снижается до  $0,05\text{--}0,06\text{ с}^{-1}$ , а  $\beta_m$  – до  $0,06\text{--}0,11\text{ с}^{-1}$  (граница слабого и умеренного ВСВ).

*Осень.* Характер изменения ВСВ с высотой сходен с весенним периодом. Значения  $\bar{\beta}$  от слоя 10–40 м к слою 100–200 м меняются на  $0,04\text{--}0,05\text{ с}^{-1}$ , уменьшаясь во все периоды суток примерно от  $0,06\text{--}0,07\text{ с}^{-1}$  до  $0,01\text{--}0,02\text{ с}^{-1}$ . Как и весной, в слоях, лежащих выше 200 м,  $\bar{\beta}$  практически не меняется с высотой и находится в пределах  $0,010\text{--}0,016\text{ с}^{-1}$ .

Характер изменения максимальных значений  $\beta$  также сходен с их весенним изменением. Так,  $\bar{\beta}_m = 0,18\text{--}0,37\text{ с}^{-1}$  (10–40 м) и  $\bar{\beta}_m = 0,05\text{--}0,10\text{ с}^{-1}$  (100–200 м), а  $\beta_m = 0,23\text{--}0,47\text{ с}^{-1}$  (10–40 м) и  $\beta_m = 0,06\text{--}0,21\text{ с}^{-1}$  (100–200 м), особенно сильно (на  $0,26$  и  $0,35\text{ с}^{-1}$ )  $\bar{\beta}_m$  и  $\beta_m$

уменьшаются днем. Выше, к слою 600–700 м,  $\bar{\beta}_m$  снижается до 0,04–0,06 с<sup>-1</sup>, а  $\beta_m$  – до 0,06–0,12 с<sup>-1</sup> (граница слабого и умеренного ВСВ).

Характер статистических распределений  $\beta$  во всех слоях зимой, весной, летом и осенью в различное время суток (утро, день, вечер и ночь) такой же, как и в приземном слое 10–40 м: распределения сильно правоасимметричны ( $A(\beta) = 1,0–5,9$ ), существенно островершинны ( $E(\beta) > 20$ ) и не подчиняются нормальному закону. Изменчивость отдельных значений  $\beta_i$  около своих средних  $\bar{\beta}$  высока –  $C(\beta) = 0,65–1,00$ . Это свидетельствует о том, что максимальные значения  $\beta_m$  могут превышать средние значения в несколько раз.

Таким образом, высотные профили средних ВСВ во все сезоны и в любое время суток характеризуются их резким убыванием (примерно в 3 раза) от слоя 10–40 м к слою 100–200 м, а затем очень медленным уменьшением к слою 700–900 м в пределах градации очень слабых сдвигов. Максимальные сдвиги во все сезоны и периоды суток также уменьшаются с высотой от очень сильных сдвигов в слое 10–40 м до слабых или умеренных в слое 600–700 м. Статистические распределения  $\beta$  в каждом из высотных слоев характеризуются значительной изменчивостью, сильной положительной асимметрией и существенной островершинностью.

## ВЫВОДЫ

1. Главной особенностью режима средних скоростей ветра в различных высотных и орографических зонах ССЗК (осевые зоны долин, подгорные равнины, узкие склоновые долины до пригребневой линии хребтов) во все периоды года являются малые скорости (1,8–3,1 м/с), их слабо выраженный годовой и суточный ход. Повторяемость штилей высока – до 20–40% в году. На открытых незащищенных участках подгорных равнин скорости могут быть выше всего на 0,5–1 м/с. Высотная зависимость скоростей для перечисленных форм рельефа вплоть до гребневой зоны высоких хребтов выражена очень слабо и составляет  $\Delta V$  0,5–1 м/с. При приближении к водоразделам таких хребтов средние скорости резко увеличиваются до 4–6 м/с. В конце XX столетия, по сравнению с его первой половиной, заметного изменения скоростей не произошло.

2. Режим направлений ветра в различных зонах ССЗК крайне разнообразен и определяется наблюдающимся в них фактическим сочетанием ветров общей циркуляции атмосферы, развитием горно-долинных циркуляций и стабилизирующим влиянием складок местной орографии. В конце XX столетия, по сравнению с его первой половиной, заметных изменений в повторяемости направлений не произошло.

3. Повторяемость горно-долинных циркуляций в подгорных равнинах и склоновых долинах велика и может составлять в году до 42–75%, или около 150–270 дней. В узких склоновых долинах и зоне подножий наблюдается только СГДЦ. По оси обширной Чуйской долины, а также в ее подгорной равнине может наблюдаться как ГДЦ, так и СГДЦ. При смещении с востока на запад в сторону расширения долины, а также при приближении к подножью Киргизского хребта увеличивается повторяемость СГДЦ и уменьшается повторяемость ГДЦ. Наибольший вклад в циркуляцию пограничного слоя ГДЦ вносит весной, а СГДЦ – осенью.

4. В нижней тропосфере (до высоты 3 км) над Чуйской долиной, по данным аэрологической станции «Фрунзе», во все сезоны года для дня и ночи по виду профиля модуля средней скорости можно выделить четыре слоя: Земля – 0–300 м, 300–900 м, 900–2000 м и 2000–3000 м. На высотах около 300 м имеет место максимум ее значений (3,5–5,0 м/с), а около 900 м – минимум (3,7–4,2 м/с). В слое 1–3 км скорости ветра растут до 8–10 м/с к высоте 3 км, при этом градиент роста увеличивается выше 2 км. Для скоростей типична большая межгодовая изменчивость ( $C(V) = 0,49–0,90$ ), а их статистическое распределение сильно правоасимметрично ( $A(V) = 1,0–2,2$ ) и островершинно ( $E(V) = 1,1–8,0$ ). Тесная корреляция их приземных значений и значений на высотах имеет место только в пределах нижнего слоя в 300 м.

5. Феновые ветры в Чуйской долине зимой наиболее часто наблюдаются в декабре (9–12 раз из 14–21 раз за зиму) при юго-западной периферии антициклона (тип 9), а также при типах 9а и 10. Они захватывают верхнюю часть Чуйской долины (МС «Токмак» и восточнее), где выражены наиболее сильно и где относительное значение  $\Delta T$  в среднем составляет 3,0–3,5°C, достигая 5–10°C. Западнее Токмака этот эффект быстро ослабевает.

6. В центральной части Чуйской долины (ВПП аэропорта «Манас») ярко выражена суточная периодичность направлений ветра, обусловленная развитием здесь ГДЦ. Склоновая ГДЦ выражена более слабо, заметно проявляясь только ночью в своей горной компоненте и гравитационном стоке. Средние скорости ветра малы – 2,3–3,5 м/с, а их годовой и суточный ход выражен слабо, но межгодовая изменчивость скоростей велика,  $C(V)$

= 0,6–0,8. Статистическое распределение модуля скорости во все сезоны года и время суток сильно правоасимметрично ( $A(V) > 0,8$ –1,3), островершинно ( $E(V) > 0,8$ –3,6). Повторяемость штилей здесь мала и составляет 2–12%. Максимальные сезонные скорости составляют 10–15 м/с, в суточном ходе наибольшие их значения приходятся на дневные часы во все периоды года, а летом еще и на ночные.

7. В центральной части Чуйской долины во все периоды года и суток в ПГС до высот 900 м розы направлений ветра в своих главных чертах повторяют вид роз, наблюдающихся на высотах 10 и 100 м. В утренние и ночные часы наблюдается преобладание группы восточных направлений ветра (В и смежные с ним румбы) – это ветры горной составляющей ГДЦ, гравитационного стока и южных периферий антициклонов (зимой). Днем и вечером во все периоды года на всех высотах преобладает долинная составляющая ГДЦ совместно с ветрами ОЦА и соответственно ветры западной группы – СЗ и смежные (З и С) с ним румбы. Исключение составляет зима, когда во все периоды суток преобладают восточные ветры. Склоновая циркуляция выражена слабо, однако заметна в своей южной горной компоненте.

8. В центральной части Чуйской долины во все периоды года и суток в ПГС до высот 900 м можно выделить два слоя с различным характером изменения скорости ветра: 1) слой от земной поверхности до 200 м, где происходит резкий рост скорости (на 1–3 м/с) с максимумом на его верхней границе, что особенно сильно проявляется утром (во все сезоны года) и днем (летом); 2) слой 200–700 (900) м, где профиль ветра имеет сложный характер, скорости ветра либо слабо меняются с высотой, имея профиль различной сложности, либо заметно убывают к высоте 700–900 м, но всегда с четко выраженным максимумом на нижней границе (200 м). Существенное убывание скоростей наблюдается: зимой и осенью – утром, весной – вечером, летом – ночью и вечером. Максимальные скорости ветра достаточно велики и могут достигать: средние максимальные – 20 м/с, абсолютные – 42 м/с. Число штилей на высотах 100–900 м относительно невелико (не более 3–5%) и лишь на высотах 700–900 м может достигать 8%. Статистические распределения скорости на всех высотах характеризуются значительной изменчивостью, сильной положительной асимметрией и существенной островершинностью.

9. Высотные профили зональных «положительных» составляющих (направлены с запада на восток) слабо выражены – пределы колебания  $V_x$  составляют всего  $\pm 0,5$  м/с. У «отрицательных» зональных составляющих (восточное направление) профили выражены четко с максимумами на высоте 100–200 м (до 1,5–2,8 м/с по модулю), выше  $V_x$  убывают к 700–900 м по абсолютной величине до 0,5–1 м/с. Меридиональные составляющие  $V_y$  обоих знаков («положительные» южные и «отрицательные» северные), характеризуются слабо выраженным видом профилей ветра, колеблясь по высоте в пределах  $\pm 0,5$  м/с. Только зимой и летом для  $+V_y$  имеет место более заметный выраженный максимум на высотах 100–200 м. Профили зональных и меридиональных составляющих  $V_x$  и  $V_y$  во все сезоны года по знаку имеют четкий суточный ход, что является следствием развития горно-долинной циркуляции по оси Чуйской долины. На всех высотах изменчивость зональных и меридиональных составляющих по сравнению с самими составляющими велика ( $\sigma(V_x) = 2,05$ –5,78 м/с,  $\sigma(V_y) = 1,49$ –4,55 м/с). Асимметрия распределения  $V_x$  и  $V_y$  на различных высотах колеблется в широких пределах – от 1,66 до 0,76. Эксцесс распределений обеих составляющих положителен и меняется от 0,3 (0,5) до 2 (3–4). Высотные профили модуля результирующего ветра  $V_p$  во все сезоны года, за исключением зимы, делятся в течение суток на две группы: 1) ночная и утренняя группа с хорошо выраженным максимумом 2–3 м/с на высоте 100–200 м и убыванием скорости во всем вышележащем слое; 2) дневная и вечерняя группа с ростом скорости  $V_p$  с высотой без четко выраженного максимума.

10. Вертикальный сдвиг ветра ( $\beta$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) для ВПП аэропорта «Манас» был рассчитан как модуль вертикального градиента вектора ветра. В приземном слое 10–40 м средние  $\beta$  во все сезоны года и в любое время суток находятся в пределах 0,05–0,10  $\text{с}^{-1}$  (граница перехода от слабых к умеренным сдвигам). Изменчивость  $\beta$  в слое 10–40 м велика ( $C(\beta) = 0,7\text{--}0,8$ ), а их статистические распределения сильно правоасимметричны и островершинны. Максимальные сдвиги ветра в слое 10–40 м в любой из сезонов года и время суток могут достигать более 0,21  $\text{с}^{-1}$  (очень сильные сдвиги ветра), а их абсолютные значения могут быть в 2 раза больше. Значения  $\beta$  для слоя 10–30 м (анемометр – анемометр) примерно в 1,5 раза выше, чем в слое 10–40 м (анемометр – шаропилот). Полученные расхождения можно объяснить значительной горизонтальной удаленностью анемометров, а также спецификой режима ветра в нижнем приземном слое.

11. Повторяемость различных градаций  $\beta$  по шкале ИКАО следующая: для слабых  $\beta$  она велика и составляет 59–76% (особенно зимой – в вечернее время), для умеренных – 21–31%, сильных – 3–8% и очень сильных сдвигов – только 0,3–1,6% (с наибольшим ее значением летом – ночью). В каждый из сезонов 1 раз в 1 год, в 5, 10, 50 и 100 лет рассчитанные максимальные  $\beta$  могут достигать значений:  $\beta_1 = 0,148\text{--}0,238 \text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_5 = 0,209\text{--}0,289 \text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{10} = 0,214\text{--}0,307 \text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{50} = 0,256\text{--}0,357 \text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{100} = 0,281\text{--}0,370 \text{ с}^{-1}$ . При этом более высокие значения  $\beta_{Ta}$  наблюдаются: зимой – утром, весной и летом – днем, осенью – ночью. В среднем для года максимальные значения  $\beta$  не превышают значений: с вероятностью 80–90% –  $\beta_{0,80} \leq 0,083\text{--}0,116 \text{ с}^{-1}$ ,  $\beta_{0,90} \leq 0,116\text{--}0,138 \text{ с}^{-1}$  (умеренный сдвиг ветра), с вероятностью 95% –  $0,133\text{--}0,180 \text{ с}^{-1}$ , с вероятностью 0,99 и 0,999 будут соответственно не больше  $0,192\text{--}0,239 \text{ с}^{-1}$  (сильный и очень сильный сдвиг) и  $0,258\text{--}0,319 \text{ с}^{-1}$  (очень сильный сдвиг). При этом в течение года наибольшие значения  $\beta_{Fa}$  отмечаются: зимой и осенью – утром, весной – вечером и летом – ночью.

12. Высотные профили средних значений  $\beta$  в ПГС во все сезоны и время суток характеризуются их резким убыванием (примерно в 3 раза) от слоя 10–40 м к слою 100–200 м, а затем очень медленным уменьшением к слою 700–900 м в пределах градации очень слабых сдвигов. Максимальные сдвиги во все сезоны и периоды суток также уменьшаются с высотой от очень сильных сдвигов в слое 10–40 м до слабых или умеренных в слое 600–700 м. Статистические распределения  $\beta$  в каждом из высотных слоев характеризуются значительной изменчивостью, сильной положительной асимметрией и существенной островершинностью.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамович К.Г. и др.* О вертикальных сдвигах ветра в нижнем слое атмосферы / К.Г. Абрамович, В.Г. Глазунов, М.П. Степина // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 70. Л.: Гидрометеиздат, 1970. С. 58–70.
2. *Аламанов С.К. и др.* Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии / С.К. Аламанов, В.М. Лелевкин, О.А. Подрезов, А.О. Подрезов; ЮНЕП и WWW России. М.; Бишкек, 2006. 188 с.
3. *Алисов Б.П., Полтораус Б.В.* Климатология. М.: Изд-во МГУ, 1974. 296 с.
4. *Анапольская Л.Е., Тюктик В.В.* Ветровой режим горных районов Восточной Сибири, Дальнего Востока, полуострова Камчатка и острова Сахалин // Тр. ГГО. 1969. Вып. 246. С. 12–25.
5. *Анапольская Л.Е., Тюктик В.В.* Расчетные скорости ветра в горах Алтая и Саян // Тр. ГГО. 1969. Вып. 246. С. 25–31.
6. *Анапольская Л.Е., Сухишвили Э.В.* Расчетные скорости ветра на Кавказе // Тр. ГГО. 1969. Вып. 246. С. 26–30.
7. *Антоневич В.Д., Литвякова Л.А.* Особенности временных рядов скорости ветра // Тр. ГГО. 1979. Вып. 425. С. 42–46.
8. Атлас Киргизской ССР. Т. 1: Природные условия и ресурсы. М.: ГУГК СССР, 1987. 157 с.
9. Аэроклиматические характеристики пограничного слоя атмосферы Средней Азии. Кн. 1: Статистические характеристики метеорологических элементов в различные часы суток. Ташкент, 1986. 318 с.
10. Аэроклиматические характеристики пограничного слоя атмосферы Средней Азии. Кн. 2: Пространственно-временные корреляционные связи температуры воздуха и скорости ветра в различные часы суток. Ташкент, 1986. 293 с.
11. Аэроклиматические характеристики пограничного слоя атмосферы Средней Азии // Тр. САНИГМИ. М.: Гидрометеиздат, 1988. 52 с.
12. *Баранов А. М., Солонин С.В.* Авиационная метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 383 с.
13. *Белокрылова Т.А.* Об изменении скоростей ветра на территории СССР // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. 1989. Вып. 150. С. 38–47.
14. *Богаткин О.Г.* Авиационная метеорология. СПб: Изд-во ГГМУ, 2005. 328 с.
15. *Брусенская И.С.* Анализ эмпирических распределений модулей скорости ветра в различных зонах Чуйской долины // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. Вып. 5. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2006. С. 48–60.
16. *Брусенская И.С.* Аэроклиматическая характеристика режима ветра в пограничном слое атмосферы в районе аэропорта «Манас» // Вестн. КРСУ. 2007. Т. 7. №12. С. 109–116.
17. *Брусенская И.С.* О вертикальных сдвигах ветра в горных котловинах // Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы российской конференции / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2007. С. 58–61.
18. *Брусенская И.С.* О фоновых повышении температуры в Чуйской долине при циркуляционных процессах, сопровождающихся восточными ветрами // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. Вып. 4. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2004. С. 48–61.



19. Брусенская И.С. Особенности режима средних скоростей ветра в нижней тропосфере над Чуйской долиной Тянь-Шаня // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. Вып. 4. Горно-Алтайск, 2007. С. 121–132.
20. Брусенская И.С. Повторяемость горно-долинной циркуляции в Северном, Северо-Западном Кыргызстане по приземным ветровым данным // Погода и климат Кыргызстана. Вып. 3. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2009. С. 27–35.
21. Брусенская И.С. Режим средних скоростей ветра в днищах Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долин // Погода и климат Кыргызстана. Вып. 2. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2005. С. 15–29.
22. Брусенская И.С. Режим средних скоростей ветра в области склонов хребтов Северного Кыргызстана // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. Вып. 5. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2005. С. 30–41.
23. Брусенская И.С. Режим средних скоростей ветра на территории Северного и Северо-Западного Кыргызстана // Теоретические и прикладные вопросы современной географии: Материалы Всероссийской молодежной школы-семинара. 27–28 апреля 2005 г. / Под ред. Н.С. Евсеевой, Н.В. Осинцевой, З.Н. Квасниковой. Томск: Дельта-план, 2005. С. 114–116.
24. Брусенская И.С., Комиссарова А.В. Об изменении режима ветра в конце 20 века в Чуйской долине и на склонах Кыргызского Ала-Тоо // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. Вып. 6. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2007. С. 33–46.
25. Брусенская И.С., Подрезов О.А. Вертикальные сдвиги ветра в пограничном слое атмосферы в аэропорту «Манас» // Вестн. КРСУ. 2007. Т. 7. №12. С. 103–108.
26. Брусенская И.С. Влияние расположения анемометров на значение вертикальных сдвигов ветра // Гидрометеорология и экология. Вып. 2. Алматы, 2009. С. 78–83.
27. Брусенская И.С. Оценка высотной корреляционной зависимости скоростей ветра на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана // Вестн. КРСУ. 2009. Т. 9. №3. С. 149–152.
28. Брюхань Ф.Ф., Гутерман И.Г. Климатическая характеристика вертикальных сдвигов ветра в приземном слое атмосферы над СССР // Метеорология и гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1981. №5. С. 17–23.
29. Бугаев В.А. и др. Синоптические процессы Средней Азии / В.А. Бугаев, В.А. Джорджио, Е.М. Козик. Ташкент: Изд-во АН Узб. ССР, 1957. 477 с.
30. Бурман Э.А. Местные ветры. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 342 с.
31. Бызова Н.Л., Велковицкая З.И. Статистические характеристики мгновенных сдвигов ветра в нижнем слое атмосферы // Метеорология и гидрология. №12. 1980. С. 31–38.
32. Васильев А.А. Сдвиг ветра в нижнем слое в зоне атмосферных фронтов // Тр. Гидрометеоцентра СССР. Вып. 215. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 79–82.
33. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
34. Ветровые и гололедные воздействия на конструкции горных воздушных линий. Бишкек: Илим, 2004. 158 с.
35. Геймгольц Н.Ф. Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 330 с.
36. Глазунов В.Г. Вертикальные сдвиги ветра при различной стратификации температуры в нижнем 300-метровом слое атмосферы // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 60. Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 3–12.
37. Глазунов В.Г. Вертикальный сдвиг ветра в приземном слое атмосферы при различном периоде осредненных данных изменений ветра // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 215. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 83–96.

38. Глазунов В.Г. Временной ход вертикального сдвига ветра в связи с эволюцией синоптического положения // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 235. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 109–119.
39. Глазунов В.Г. О влиянии вертикального сдвига ветра в нижних слоях атмосферы на самолет, совершающий взлет и посадку // Проблемы авиационной метеорологии: Тр. ЛГМИ. Вып. 42. Л.: Гидрометеиздат, 1971. С. 129–140.
40. Глазунов В.Г. Оповещение о сильных сдвигах ветра в районе аэродрома: Методическое пособие для синоптиков АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ и ГАМЦ. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 29 с.
41. Глазунов В.Г., Кабанов А.В. Вертикальные сдвиги ветра в слое приземной инверсии температуры // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 247. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 79–90.
42. Глазунов В.Г. Величина вертикального сдвига ветра при различной толщине слоя в приземной части атмосферы // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 70. Л.: Гидрометеиздат, 1970. С. 45–57.
43. Грузинова Л.Г. и др. Аэрологическая характеристика ветра в Чирчикской долине / Л.Г. Грузинова, В.П. Курбаткин, С.Г. Чанышева // Тр. САРНИГМИ. Вып. 10 (91). 1974. С. 56–63.
44. Гутерман И.Г. Вертикальные сдвиги ветра // Тр. НИИАК. Вып. 56. 1969. С. 3–35 с.
45. Гуцина Д.Ю., Петросянц М.А., Соколихина Е.В. Интегральные характеристики глобального поля ветра. 2. Интенсивность западного и восточного переносов // Метеорология и гидрология. 2002. №5. С. 5–16.
46. Гуцина Д.Ю., Петросянц М.А., Соколихина Е.В. Интегральные характеристики глобального поля ветра. 1. Западный и восточный перенос, годовой ход и структура // Метеорология и гидрология. 2001. №9. С. 25–39.
47. Дзюба А.В., Панин Г.Н. Изменение направления и скорости ветра от Арктики до Каспийского моря как проявление современных изменений климата // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. №6. С. 737–753.
48. Дзюба А.В., Панин Г.Н. Механизм формирования многолетних направленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях // Метеорология и гидрология. 2007. №5. С. 5–27.
49. Дородицын А.А. Влияние рельефа земной поверхности на воздушные течения // Тр. ЦИП. 1950. Вып. 21 (48). С. 35–47.
50. Дробышев А.Д. Результаты уточнения расчетных скоростей ветра на территории региона Сибири и Урала // Тр. ЗСРНИГМИ. 1981. Вып. 49. С. 73–78.
51. Закс Л. Статистическое оценивание / Пер. с нем. В.Н. Варыгиной. М.: Статистика, 1976. 598 с.
52. Изменчивость климата Средней Азии / Под ред. ФА. Муминова, С.И. Инагамовой // Тр. САНИГМИ. Ташкент, 1995. 216 с.
53. Исаев Д.И. и др. Рельеф Киргизии / Д.И. Исаев, М.И. Глушкова, З.А. Алиев, А.П. Данилина, Ш.Т. Токомбаев. Фрунзе: Илим, 1964. 147 с.
54. Исамухамедова У. Особенности сдвигов ветра в нижнем слое атмосферы в некоторых аэропортах Узбекистана // Тр. САНИГМИ. Вып. 10 (91). 1974. С. 70–74.
55. Исамухамедова У. Сильные вертикальные сдвиги ветра в зоне взлета и посадки самолетов в аэропортах Узбекистана // Тр. САНИГМИ. Вып. 25 (40). 1966. С. 74–82.
56. Капралова В.П. и др. Районирование территории Украинских Карпат по расчетным характеристикам ветра / В.П. Капралова, А.Н. Раевский, А.П. Раменская // Метеорология, климатология и гидрология. Киев, 1970. Вып. 6. С. 66–72.

57. *Каширский В.Д.* Разработка синоптико-статистических моделей вертикальных сдвигов ветра в нижнем 500-метровом слое атмосферы по данным десятилетнего ряда наблюдений на метеорологических мачтах России / Гидрометцентр. М., 1998. 16 с.
58. *Каширский В.Д.* Создание банка данных для построения синоптико-статистических моделей сдвигов ветра в нижнем слое атмосферы по результатам наблюдений на высотных мачтах России / Гидрометцентр. М., 1998. 11 с.
59. *Керимов А.А., Исраилов А.А.* Сравнение результатов измерений скорости ветра, осуществленных различными приборами // Тр. МиГ. 1970. №11. С. 102–104.
60. Климат Киргизской ССР / Под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 292 с.
61. Климат Фрунзе / Под ред. Е.С. Скиба, Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 136 с.
62. Климатическая характеристика аэропорта «Манас» / ГП «Кыргызаэронавигация». Бишкек, 2004. 177 с.
63. Климатологический справочник СССР. Вып. 32: История и физико-географическое описание метеорологических станций и постов. Фрунзе, 1965. 120 с.
64. Климатология / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева, Н.А. Раевский, Л.К. Смекалова, Е.П. Школьный. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
65. *Кобышева Н.В.* Косвенные расчеты климатических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 190 с.
66. *Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я.* Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеиздат 1978. 295 с.
67. *Колесников А.* Excel 97: Учебное пособие. Киев: Изд-во Группа BNV, 1988. 480 с.
68. *Курбаткин В.П. и др.* Характеристика синоптических процессов Киргизии / В.П. Курбаткин, Е.С. Скиба, В.Ф. Ушинцева // Тр. САНИГМИ. Вып. 75(156). 1980. С. 61–73.
69. *Курбаткин В.П., Софиев Е.И.* Шаропилотные исследования структуры ветра с использованием ЭВМ // Тр. САНИГМИ, 1973. Вып. 6(87).
70. *Кушнир В.М., Федоров С.В.* Оценка больших скоростей ветра по спектральным характеристикам // Метеорология и гидрология. 2001. №2. С. 56–65.
71. *Логвинов К.Т. и др.* Опасные гидрометеорологические явления в Украинских Карпатах / К.Т. Логвинов, А.Н. Раевский, М.М. Айзенберг. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 200 с.
72. *Луц Н.В.* Многолетняя изменчивость скорости ветра в Восточном Приазовье // Метеорология и гидрология. 2001. №2. С. 98–102.
73. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 778 с.
74. Мезометеорологические процессы в прибрежной зоне Черного моря в летнее время // Метеорология и гидрология. 2006. №3. С. 31–45.
75. *Мещерская А.В. и др.* Мониторинг скорости ветра на водосборе Волги и Урала в XX веке / А.В. Мещерская, И.Ф. Гетман, М.М. Борисенко, Э.И. Шевкунова // Метеорология и гидрология. 2004. №3. С. 83–97.
76. *Мещерская А.В. и др.* Изменение скорости ветра на севере России во второй половине 20 века по приземным и аэрологическим данным / А.В. Мещерская, В.В. Еремин, А.А. Баранова, В.В. Майстрова // Метеорология и гидрология. 2006. №9. С. 46–58.
77. *Морозова М.И.* Роль фенового эффекта горно-долинной циркуляции // Метеорология и гидрология в Узбекистане. Ташкент: Изд-во АН Узб. ССР, 1956.
78. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1: Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 304 с.
79. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 32: Киргизская ССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 375 с.
80. *Невицкий М.А. и др.* Максимальные пульсации направления ветра за ограниченные промежутки времени на высотах до 300 м по данным наблюдений на высотной мачте

- / М.А. Невицкий, Л.М. Хачатурова, Л.К. Кулинжикова, М.К. Мацкевич // Метеорология и гидрология. 2007. № 3. С. 33–42.
81. Новый аэроклиматический справочник пограничного слоя атмосферы над СССР. Т. 2: Статистические характеристики ветра. М.: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 1986–1987.
  82. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 2: Характеристики ветра и геопотенциала (1979); Т. 6. Характеристики вероятности (доверительные интервалы) скорости ветра. М.: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 1979–1981.
  83. Опасные гидрометеорологические явления в Казахстане / Под ред. Л.П. Тулиной. М.: Гидрометеиздат, 1978. 193 с.
  84. Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии / Под ред. А.Д. Джураева, С.Г. Чанышевой, О.И. Субботиной. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 236 с.
  85. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе / Под ред. Г.Г. Сванидзе, Я.А. Цуцкиридзе. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 264 с.
  86. Опасные гидрометеорологические явления на территории Сибири и Урала. Ч. 1 / Под ред. С.Д. Кашинского. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 205 с.
  87. Орленко Л.Р., Шкляревич О.Б. Методика расчета вертикальных сдвигов ветра в нижней части пограничного слоя атмосферы и о синоптической информации // Тр. ГГО. Вып. 454. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 80–90.
  88. Орленко Л.Р., Шкляревич О.Б. О расчете вертикальных сдвигов ветра в нижней части пограничного слоя атмосферы по наземной информации // Тр. ГГО. Вып. 454. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 91–96.
  89. Орленко Л.Р., Шкляревич О. Вертикальные сдвиги ветра в пограничном слое атмосферы по экспериментальным данным // Метеорология и гидрология. 1974. №10. С. 32–40.
  90. Павлова И.А., Подрезов А.О. Опасные метеорологические явления на территории Кыргызстана. Кн. 2: Режим циркуляции атмосферы и загрязнение городов Чуйской долины. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2003. 139 с.
  91. Панин Г.Н., Дзюба А.В. О современной тенденции изменения климата и ее влиянии на локальные изменения водных ресурсов // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. №1. С. 14–22.
  92. Панин Г.Н., Дзюба А.В. Современные изменения вектора скорости ветра и интенсивность испарения с поверхности Каспийского моря // Водные ресурсы. 2003. Т. 3. №2. С. 198–207.
  93. Первое национальное сообщение Кыргызской Республики по рамочной конвенции ООН об изменении климата / Сост.: Ш.А. Ильясов, О.А. Подрезов, Е.М. Родина; М-во экологии и ЧС КР. Бишкек, 2003. 98 с.
  94. Петросянц М.А. и др. О масштабе влияния орографии на метеорологические процессы Средней Азии / М.А. Петросянц, С.Г. Чанышева, О.И. Субботина // Тр. САРНИГМИ. Вып. 10 (91). 1974. С. 3–40.
  95. Подрезов А.О. Максимальные скорости ветра на гребнях и склонах хребтов Кыргызстана // Гидрометеорология и экология. №2 / Респ. гос. предприятие «Казгидромет». Алматы, 2000. С. 231–239.
  96. Подрезов А.О. Сильные ветры на территории Кыргызстана // Гидрометеорология и экология. № 3–4 / Респ. гос. предприятие «Казгидромет». Алматы, 2000. С. 49–58.
  97. Подрезов А.О., Павлова И.А. Опасные метеорологические явления на территории Кыргызстана. Кн. 1: Режим сильных ветров. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2003. 115 с.
  98. Подрезов О.А. Горная метеорология и климатология. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2000. 270 с.



99. *Подрезов О.А.* Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах. Л.: Гидрометеиздат, 1992. 227 с.
100. *Подрезов О.А., Перова М.В.* Климатические параметры отопительного периода на территории Северного Кыргызстана // Вестн. КРСУ. 2006. Т. 6. №5. С. 153–159.
101. *Природа Киргизии* / Под ред. К.О. Оторбаева, Б.А. Лунина, В.А. Благообразова. Фрунзе, 1962. 340 с.
102. *Разуваев В.Н. и др.* Шести- и трехчасовые метеорологические наблюдения по данным 223 станций СССР / В.Н. Разуваев, Е.Г. Апасова, Р.А. Мартуганов. Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 1969. 172 с.
103. *Роджерс Г. Барри.* Погода и климат в горах / Пер. с англ.; Под ред. А.Х. Хргиана. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 311 с.
104. *Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации* / Гидрометцентр СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 301 с.
105. *Сапожникова С.А.* Характеристика местоположения метеорологических станций для оценки его влияния на ветровой режим // Тр. НИИ-АК. 1966. Вып. 37. С. 41–49.
106. *Сдвиг ветра. Циркуляр ИКАО 186-AN/122: Международная классификация гражданской авиации.* Монреаль (Канада), 1987. 200 с.
107. *Семочкин А.Г.* Функции распределения модуля и угла направления вектора ветра // Метеорология и гидрология. 2000. №6. С. 31–38.
108. *Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1969. 459 с.
109. *Смирнов С.А.* Сравнительные характеристики скорости и направления ветра, определяемые приборами с различными интервалами осреднения // Тр. ГГО. 1965. Вып. 174. С. 135–148.
110. *Справочник по климату СССР. Ч. 3: Ветер. Вып. 32: Киргизская ССР.* Л.: Гидрометеиздат, 1967. 388 с.
111. *Стрижанцева О.М.* Оценка повторяемости горно-долинной циркуляции в Юго-Западном Кыргызстане по приземным ветровым данным // Погода и климат Кыргызстана. Вып. 2. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2005. С. 83–88.
112. *Фатеев Н.П. и др.* Состояние измерений параметров ветра и анализ их метеорологического обеспечения / Н.П. Фатеев, Ю.В. Рогалёв, Б.Л. Кожевников // Тр. ГГО. 1982. Вып. 465. С. 25–36.
113. *Царева В.Г.* Исследование вертикального сдвига вектора ветра по наблюдениям на 300-метровой метеорологической мачте // Метеорология и гидрология. 1974. №2. С. 82–84.
114. *Чанышева С.Г.* О вертикальном распределении ветра в горных районах Средней Азии // Тр. САРНИГМИ. 1974. Вып. 10 (91). С. 41–55.
115. *Чанышева С.Г., Грузинова Л.Г.* Режим ветра в Таласской долине в период холодных вторжений // Тр. САРНИГМИ. 1974. Вып. 10 (91). С. 64–69.
116. *Чанышева С.Г.* Местные ветры Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 120 с.
117. *Школяр Л.Ф.* К вопросу об уменьшении скорости ветра за последние десятилетия // Тр. ГГО. 1980. Вып. 435. С. 96–98.
118. *Школяр Л.Ф. и др.* Об измерении больших скоростей ветра анеморумбометром М-63М и флюгером с тяжелой доской / Л.Ф. Школяр, Г.Ф. Ивлева, Л.Н. Щербакова // Тр. ГГО. 1986. Вып. 493. С. 44–49.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

Типизация расположения станций Северного, Северо-Западного Кыргызстана  
(жирным шрифтом выделены действующие на 01.01.2003 г. станции) [63]

№	Станция	Высота, м	Координаты (широта; долгота)	Период работы	Расположение
1	2	3	4	5	6
<b>Чуйская долина и ее горное обрамление</b>					
Тип 1. Ось долины					
1.	<b>Жаны-Жер</b> (6б) (Чуйская, стар.)	596	43°13/ 74°14/	с 1931	Осевая северная часть долины
2.	АМЦ «Манас»	637	43°04/ 74°29/	с 1974	Осевая центральная часть долины
3.	Константиновская (8а)	645	43°02/ 74°42/	1910–1949	Осевая центральная часть долины
4.	<b>Токмак</b> (6б)	816	42°49/ 75°18/	с 1895	Осевая восточная часть долины
Тип 2. Подгорная равнина					
5.	Беловодск (6б)	726	42°50/ 74°07/	1929–1992	Центральная часть подгорной равнины Киргизского хребта
6.	<b>Бишкек</b> (6б) (Фрунзе, стар.)	756	42°51/ 74°32/	с 1927	Центральная часть подгорной равнины Киргизского хребта
7.	<b>Кара-Балта</b> (5в) (Калининское, стар.)	770	42°49/ 73°49/	с 1956	Западная часть подгорной равнины Киргизского хребта
8.	Бишкек АМСГ (7б) (Фрунзе АМСГ, стар.)	823	42°50/ 74°35/	1937–1980	Центральная часть подгорной равнины Киргизского хребта
Тип 3. Подножье северных склонов Киргизского Ала-Тоо (Тип 2-3-2 по [99])					
9.	<b>Ысык-Ата</b> (Юрьевка, стар.)	1028	42°44/ 75°01/	с 1956	Устье р. Кегеты, северный склон Киргизского Ала-Тоо
10.	Чон-Арык	1110	42°42/ 74°02/	1931–1989	Устье р. Джаламыш, северный склон Киргизского Ала-Тоо



1	2	3	4	5	6
Тип 4. Нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо (Тип 2-5в-5 по [99])					
11. Байтык		1579	42°41' 74°30'	с 1912	Долина р. Ала-Арча, северный склон Киргизского Ала-Тоо
12. Норус		1631	42°40' 74°51'	1934–1943	Северный склон Киргизского Ала-Тоо, широтная межгорная впадина
13. Арасан		1800	42°36' 74°54'	1903–1949	Узкая долина р. Ысык-Ата, северный склон Киргизского Ала-Тоо
Тип 6. Верхняя часть склонов Киргизского Ала-Тоо (Тип 2-5в-5 по [99])					
14. Ала-Арча перевал		2945	42°29' 74°28'	1958–1991	Долина р. Ала-Арча, северный склон Киргизского Ала-Тоо
15. Тюя-Ашу сев.		3090	42°42' 73°49'	1953–1987	Долина р. Карабалта, северный склон Киргизского Ала-Тоо
16. Тюя-Ашу южн.		3225	42°20' 73°49'	с 1957	Долина р. Чайыш южного склона Киргизского Ала-Тоо
Чон-Кеминская долина (Тип 1. Ось долины)					
17. Шабдан (5в) (Новороссийка, стар.)		1532	42°44' 76°04'	1926–1999	Центральная часть Чон-Кеминской долины
Таласская долина и ее горное обрамление					
Тип 1. Ось долины					
18. Кызыл-Адыр (Кировское, стар.) (5в)		885	42°39' 71°48'	с 1943	Осевая западная часть долины
19. Талас (5в)		1217	42°31' 72°13'	с 1929	Осевая центральная часть долины

1	2	3	4	5	6
Тип 2. Подгорная равнина					
20.	<b>Бакй-Ага</b> (5в) (Ленинполь, стар.)	1187	41°36' 72°49'	1925–2003	Западная часть долины
Тип 5. Средняя часть южного склона Киргизского Ала-Тоо (Тип 2-5в-5 по [99])					
21.	Ак-Таш	2100	42°30' 73°06'	1951–1999	Центральная часть широтной узкой долины р. Каракол

*Примечание:* 1. В скобках у названия станции дан класс открытости, осредненный по восьми румбам (по классификации В.Ю. Милевского) [110]. 2. В скобках, где указан тип расположения станций, дана типизация для режима сильных ветров по [99].

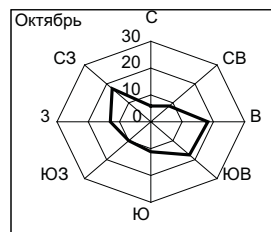
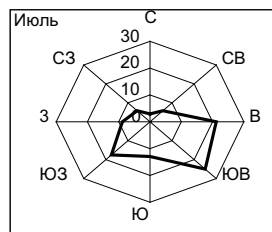
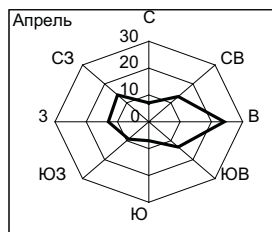
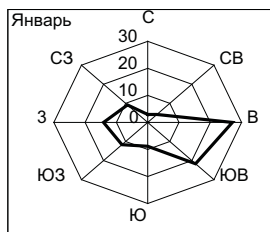
Средняя месячная скорость ветра в различные часы суток (м/с) в ССЗК [110]

Станция	Часы	Месяцы года											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Чуйская долина</b>													
Тип 1. Ось долины													
Чуйская (6б)	1	1,5	1,9	2,1	2,6	2,4	2,1	2,3	2,0	1,6	1,5	1,6	1,5
	7	1,7	1,9	2,1	2,6	2,6	2,4	1,9	1,6	1,3	1,4	1,5	1,7
	13	1,8	2,3	3,0	3,6	3,1	2,4	2,2	2,2	2,4	2,6	2,0	1,7
	19	1,5	1,8	2,4	3,1	2,5	2,4	2,0	2,0	1,7	1,5	1,4	1,6
Константиновская (8а)	1	1,9	2,4	2,5	3,2	3,6	4,2	3,8	2,6	2,2	2,0	2,2	2,2
	7	2,2	2,3	2,3	2,7	3,1	3,7	3,3	2,3	2,0	2,0	2,3	2,4
	13	2,1	2,7	3,2	3,8	3,6	3,4	3,5	3,6	3,7	2,6	2,7	2,1
	19	1,9	1,8	2,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,2	2,4	1,8	2,1	2,0
Тип 2. Подгорная равнина													
Фрунзе (6б)	1	1,9	2,2	2,0	2,2	2,2	2,3	2,3	2,0	2,2	2,0	1,8	1,8
	7	1,8	1,8	2,0	1,6	1,7	1,6	1,3	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8
	13	1,7	2,2	2,7	3,2	2,9	2,9	2,7	2,6	2,7	2,4	2,2	1,6
	19	1,8	1,8	1,9	2,1	2,0	2,2	1,8	1,7	2	2,1	1,7	1,7
Тип 3. Подножье склонов													
Чон-Арык (4в)	1	2,6	2,6	2,2	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,5
	7	2,6	2,5	2,1	1,6	1,4	1,2	1,1	1,3	1,7	2,2	2,3	2,5
	13	1,3	1,3	2,1	2,7	2,6	2,4	2,2	2,4	2,4	2,2	1,7	1,3
	19	2,4	2,3	2,0	2,1	2,3	2,4	2,3	2,5	2,4	2,1	2,2	2,4
2. Нижняя часть склона													
Байтык	1	2,2	2,3	2,1	2,3	2,4	2,4	3,0	2,8	2,2	2,2	2,0	2,2
	7	2,3	2,3	2,2	2,1	1,9	2,0	2,2	2,4	2,2	2,2	2,1	2,3
	13	1,0	1,2	1,9	2,7	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3	1,4	1,2
	19	1,9	2,0	1,7	1,5	1,9	2,6	2,5	2,3	1,7	1,8	2,0	2,1
Арасан	1	2,4	2,7	2,6	2,4	2,4	2,9	2,8	2,3	2,3	2,5	2,7	3,0
	7	2,4	2,5	2,4	2,1	1,5	1,6	1,7	2,0	2,3	2,5	2,5	2,5
	13	1,3	1,9	2,6	3,3	3,1	3,0	3,1	3,3	3,5	2,6	1,5	1,3
	19	2,1	2,1	1,7	1,6	1,7	2,3	2,2	2,0	1,8	1,9	2,4	2,3
4. Верхняя часть склона													
Тюя-Ашу сев.	1	5,1	5,8	5,7	4,2	3,4	3,1	3,4	3,2	4,3	4,7	5,3	5,3
	7	4,7	5,6	5,5	4,4	3,7	3,7	3,9	3,7	4,6	5,1	5,4	5,2
	13	5,5	6,2	6,1	5,3	4,2	3,9	4,0	3,5	4,5	4,9	5,8	5,6
	19	4,6	4,9	4,6	3,2	2,1	1,5	1,5	0,7	1,3	3,5	4,7	4,8
<b>Чон-Кеминская долина</b>													
(Тип 1. Ось долины)													
Новороссийка (5в)	1	2,3	2,3	2,0	1,9	1,6	1,3	1,2	1,3	1,4	1,7	1,9	2,2
	7	2,0	2,0	1,6	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7	0,8	1,3	1,8	2,1
	13	1,8	2,2	3,0	3,7	3,9	3,5	3,6	3,9	4,2	3,1	1,9	1,6
	19	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,0	2,0	1,4	1,6	1,7	1,9

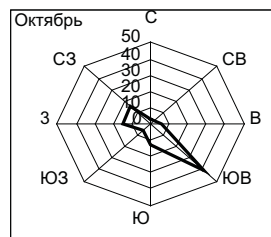
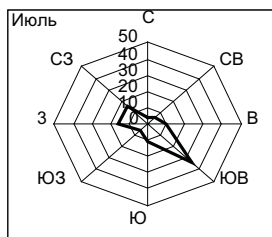
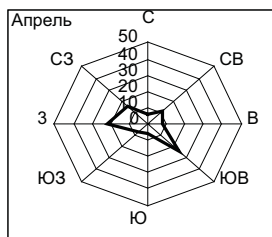
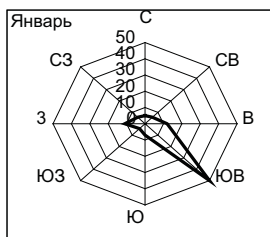
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Таласская долина</b>													
Тип 1. Ось долины													
Кировское (5в)	1	1,2	1,4	1,5	1,2	1,2	1,3	1,1	0,7	0,5	0,9	1,2	1,2
	7	1,2	1,4	1,4	1,1	1,3	1,3	1,0	0,4	0,4	0,7	1,1	0,4
	13	1,6	2,0	3,2	3,9	3,6	3,7	3,8	4,1	4,2	3,6	2,3	1,6
	19	1,2	1,5	1,8	2,3	2,5	2,7	2,8	2,7	2,0	1,4	1,2	1,4
Талас (5в)	1	2,7	2,4	2,1	2,2	2,4	2,5	2,4	2,2	2,1	2,1	2,0	2,3
	7	2,7	2,5	2,1	2,1	2,0	2,1	1,8	2,0	2,2	2,2	2,2	2,6
	13	1,9	2,1	3,0	3,7	4,0	3,9	4,1	4,5	4,4	3,6	2,1	1,6
	19	2,3	1,8	1,6	1,7	1,9	1,8	1,8	1,5	0,9	1,0	1,6	2,2
3. Средняя часть склона													
Ак-Таш (4γ)	1	3,7	3,6	2,9	2,9	2,8	3,3	2,7	3,1	3,0	3,0	3,3	3,6
	7	3,8	3,6	3,1	3,2	3,1	3,2	3,0	3,0	3,1	3,0	3,3	3,7
	13	2,0	2,2	2,9	3,9	4,0	3,8	3,9	4,0	4,2	3,5	2,4	2,0
	19	3,0	2,4	2,1	2,4	3,1	2,9	2,7	2,6	1,8	1,8	2,5	3,1

Розы направлений ветра в ССЗК в различные сезоны года

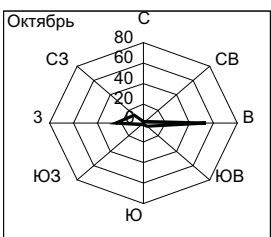
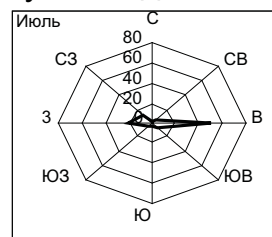
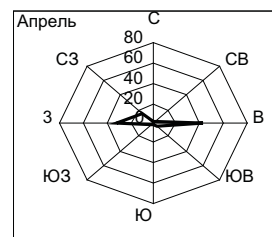
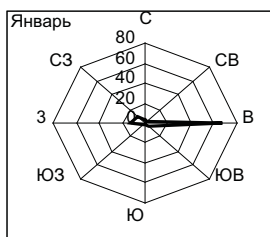
МС «Чуйская» – ось Чуйской долины



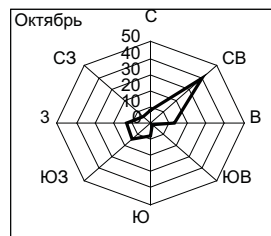
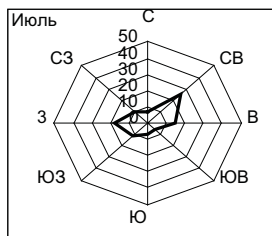
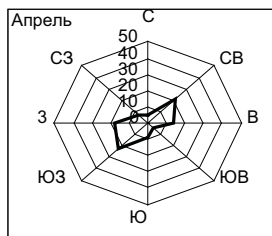
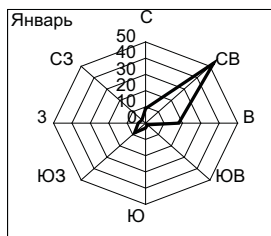
МС «Константиновская» – ось Чуйской долины



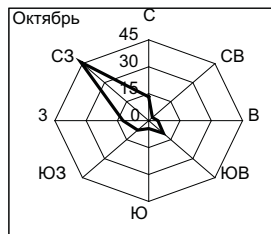
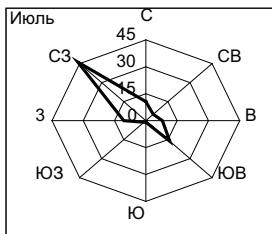
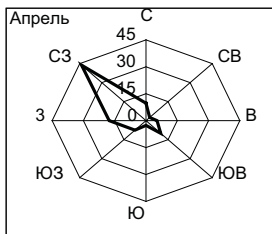
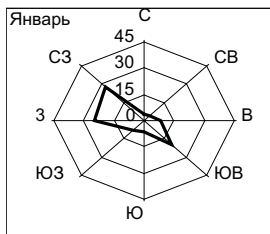
МС «Токмак» – ось Чуйской долины



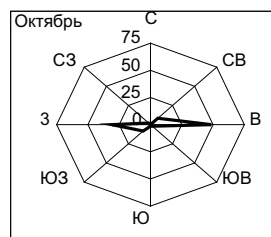
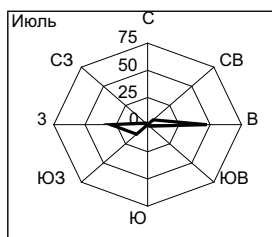
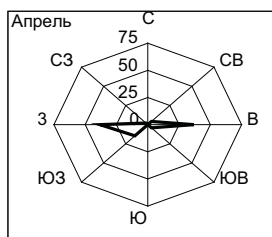
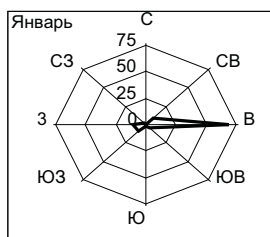
МС «Новороссийка» – ось Чон -Кеминской долины



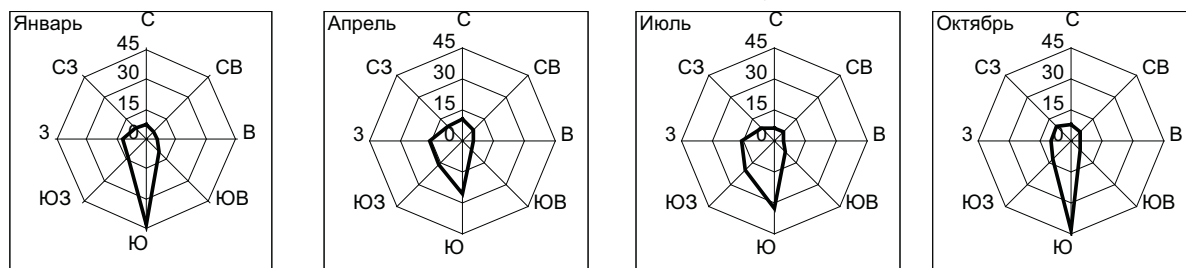
МС «Кировское» – ось Таласской долины



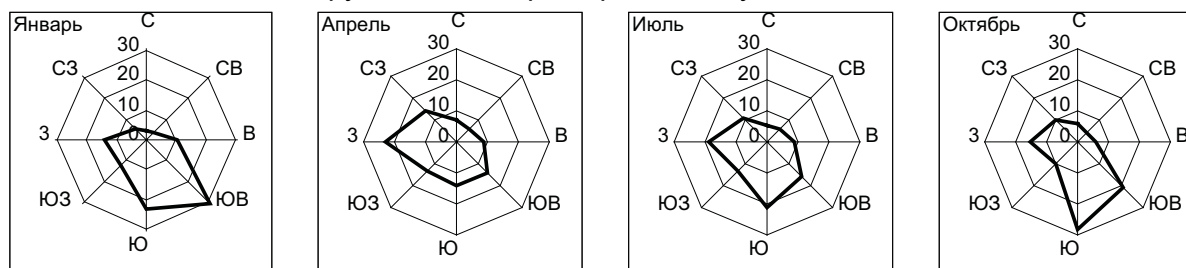
МС «Талас» – ось Таласской долины



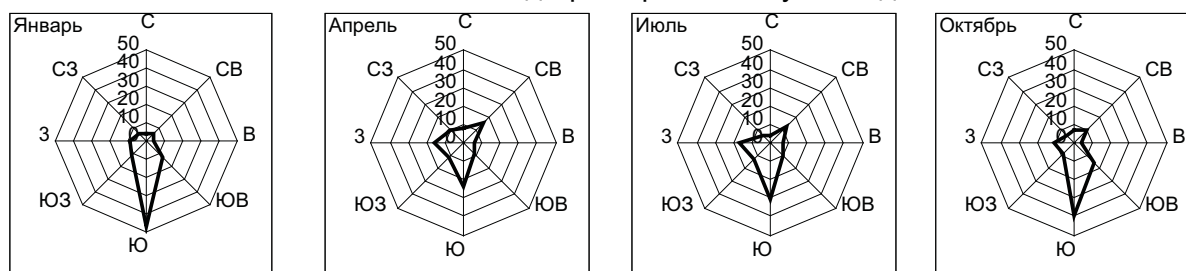
МС «Беловодск» – подгорная равнина Чуйской долины



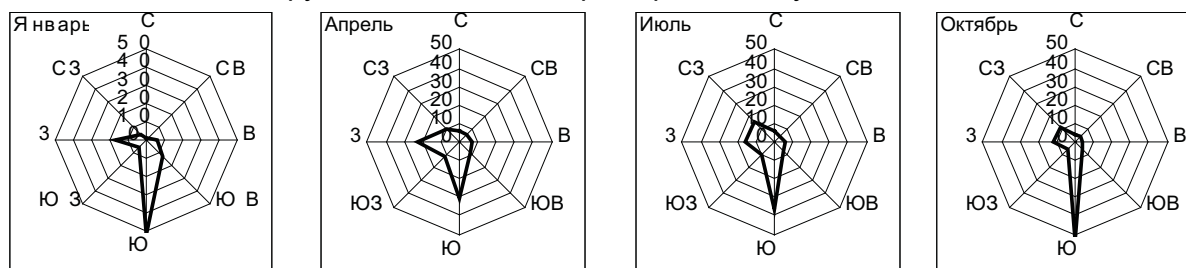
МС «Фрунзе» – подгорная равнина Чуйской долины



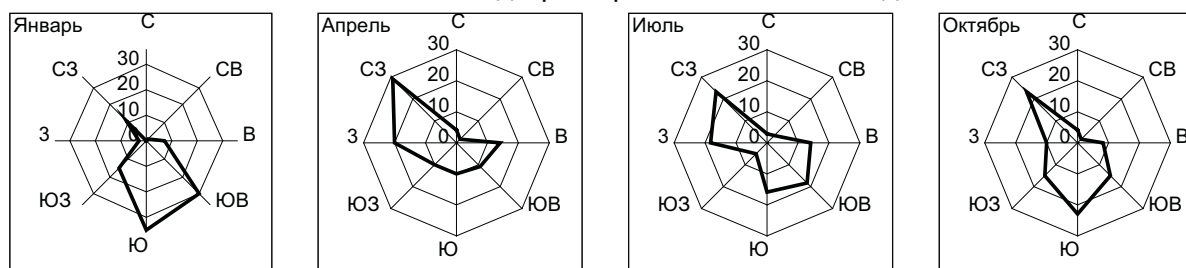
МС «Калининское» – подгорная равнина Чуйской долины



МС «Фрунзе АМСГ» – подгорная равнина Чуйской долины

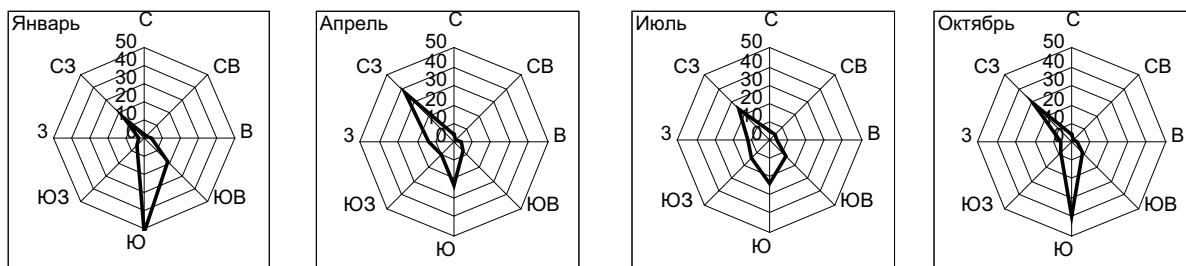


МС «Ленинполь» – подгорная равнина Таласской долины

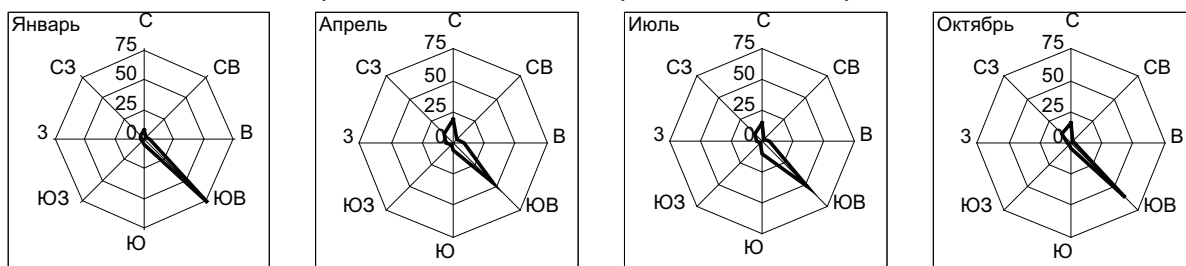




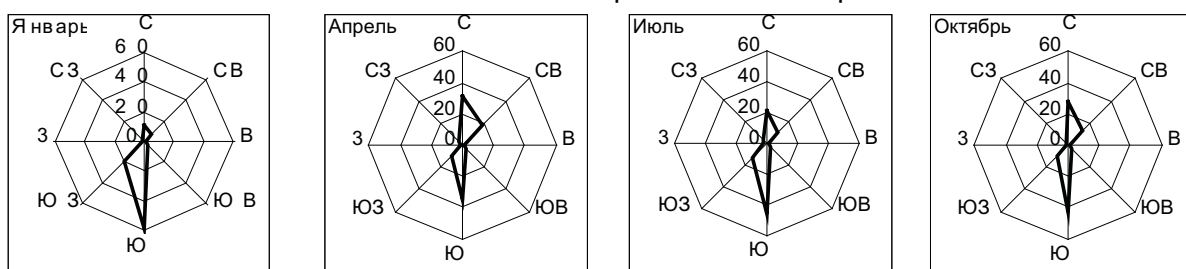
МС «Юрьевка» – подножье северных склонов Киргизского Ала-Тоо



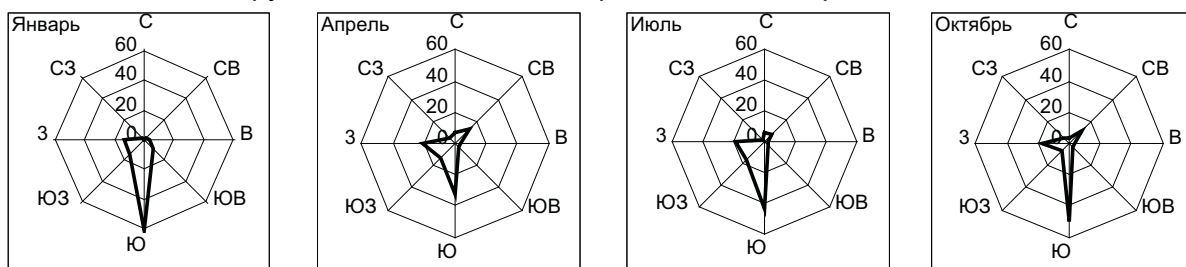
МС «Чон-Арык» – подножье северных склонов Киргизского Ала-Тоо



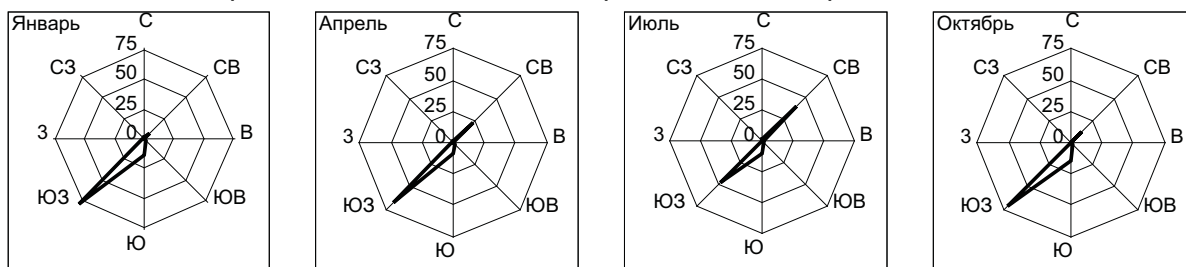
МС «Байтык» – нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо



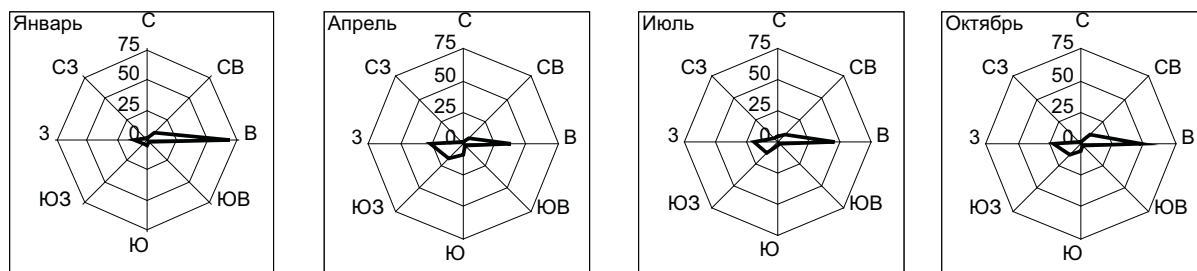
МС «Норус» – нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо



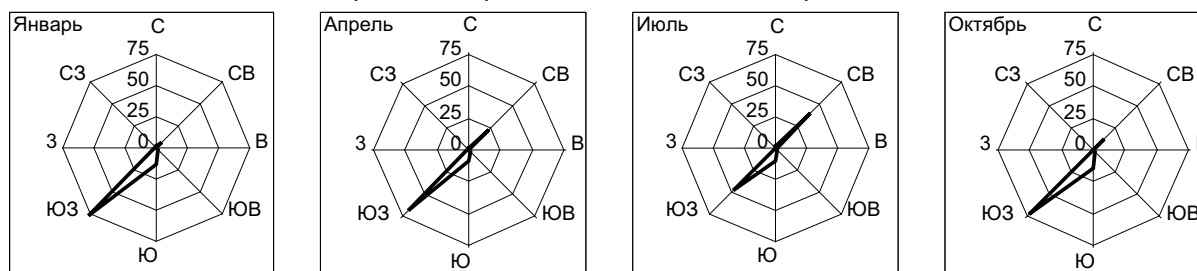
МС «Арасан» – нижняя часть северных склонов Киргизского Ала-Тоо



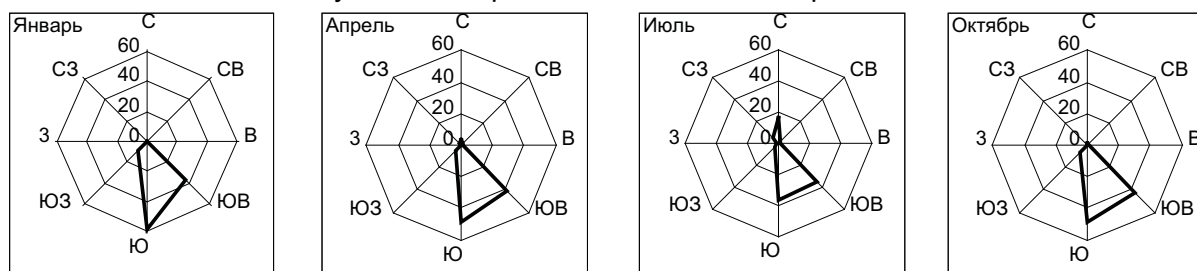
МС «Ак-Таш» – средняя часть южного склона Киргизского Ала-Тоо



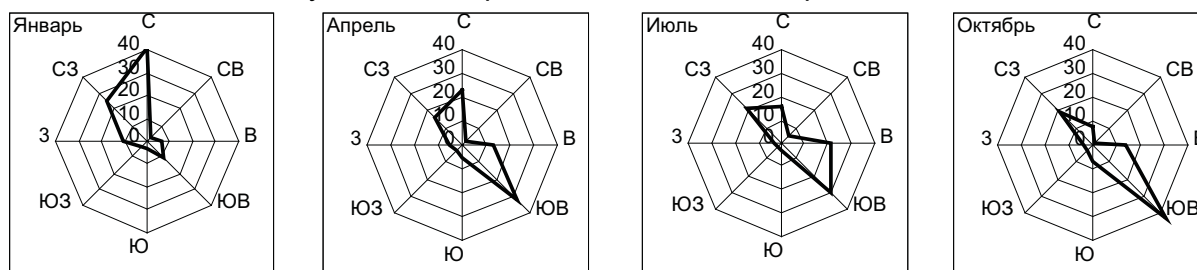
МС «Ала-Арча» – верхняя часть склонов Киргизского Ала-Тоо



МС «Тюя-Ашу сев.» – верхняя часть склонов Киргизского Ала-Тоо



МС «Тюя-Ашу южн.» – верхняя часть склонов Киргизского Ала-Тоо



## Повторяемость направлений ветра (%) в Чуйской долине и ее горном обрамлении

Месяц	Повторяемость направлений, %															
	С		СВ		В		ЮВ		Ю		ЮЗ		З		СЗ	
МС «Бишкек» («Фрунзе») – подгорная равнина																
	<i>В</i>	<i>КС</i>	<i>В</i>	<i>КС</i>	<i>В</i>	<i>КС</i>	<i>В</i>	<i>КС</i>	<i>В</i>	<i>КС</i>	<i>В</i>	<i>КС</i>	<i>В</i>	<i>КС</i>	<i>В</i>	<i>КС</i>
1	4	5	6	4	17	12	19	26	19	19	12	14	14	15	5	5
2	7	9	5	4	15	12	16	19	15	17	12	14	17	17	8	8
3	9	9	7	5	11	12	10	15	13	13	10	12	20	22	12	12
4	8	8	8	7	10	11	13	14	16	13	11	14	18	22	12	11
5	9	9	8	6	12	10	16	16	16	17	10	13	17	18	8	11
6	8	8	8	6	12	11	16	18	17	18	10	13	14	17	10	9
7	8	7	6	6	11	9	15	16	18	19	10	13	17	19	13	11
8	7	6	4	4	8	6	14	16	20	21	12	14	19	21	13	12
9	8	6	5	4	7	5	15	17	22	26	10	13	18	18	14	11
10	10	7	6	5	11	8	16	21	18	21	9	11	16	16	11	11
11	6	6	7	5	14	12	17	20	17	20	10	12	15	16	7	9
12	6	5	6	4	19	13	19	24	17	19	11	13	14	16	5	6
Год	8	7	6	5	12	10	16	18	17	19	11	13	17	18	10	10
МС «Байтык» – нижняя часть склона																
1	11	11	7	6	6	1	3	4	53	57	9	18	5	1	3	2
2	19	16	8	9	8	2	3	4	46	51	9	16	3	1	2	1
3	24	24	12	17	6	2	2	3	38	40	6	11	5	1	2	2
4	31	31	11	17	4	1	1	3	34	35	7	9	5	1	4	3
5	29	29	11	15	2	1	2	3	33	37	7	10	5	2	6	3
6	24	22	8	11	3	1	3	3	37	43	10	14	6	2	5	4
7	27	21	6	10	2	1	2	4	36	46	10	13	4	2	5	3
8	30	24	7	10	2	1	2	4	40	45	9	12	5	1	4	3
9	28	27	9	12	2	1	2	4	36	43	7	10	6	1	4	2
10	23	28	9	13	2	1	2	3	37	43	7	10	6	1	4	1
11	17	19	7	9	2	1	3	3	43	51	9	15	4	1	2	1
12	11	13	4	6	3	1	2	4	44	58	10	16	6	1	3	1
Год	23	22	8	11	4	1	2	3	40	47	8	13	5	1	4	2

Обозначения: *КС* – данные климатического справочника за 1936–1980 гг. [79]; *В* – выборка за 1989–1991 гг. (МС «Бишкек»), за 1981–1991 гг. (МС «Байтык»).

Повторяемость (%) направлений ветра по данным шаропилотных наблюдений в ПГС  
над ВПП аэропорта «Манас» в зимний период года в различное время суток

Направление	Высота над земной поверхностью, м										
	10	30	40	100	200	300	400	500	600	700	900
Утро											
С	2,6	2,2	3,5	3,6	4,0	4,0	6,2	6,7	6,2	7,1	0,0
СВ	4,8	8,2	7,1	8,0	9,9	10,8	8,6	8,0	7,0	7,9	6,7
В	16,9	21,6	22,4	23,7	18,2	19,6	23,9	21,0	23,0	23,6	35,6
ЮВ	38,5	35,3	40,2	39,4	42,3	35,2	30,0	29,4	24,3	21,3	22,2
Ю	17,7	11,2	6,7	7,2	7,9	10,8	10,3	9,7	11,9	9,4	13,3
ЮЗ	7,4	9,5	7,1	6,4	5,5	6,4	7,0	8,4	9,9	7,9	11,1
З	8,2	9,1	7,9	8,8	8,3	8,0	10,3	11,3	11,1	15,7	6,7
СЗ	3,9	3,0	5,1	2,8	4,0	5,2	3,7	5,5	6,6	7,1	4,4
<i>n</i> случаев	231	232	254	249	253	250	243	238	243	127	45
День											
С	7,4	7,7	8,0	7,5	6,8	6,9	6,0	6,0	5,5	7,6	3,5
СВ	10,0	12,8	9,8	11,2	10,8	9,5	9,2	9,6	10,0	10,9	14,8
В	24,1	22,6	22,4	20,0	22,0	26,4	24,6	23,5	24,1	19,6	27,8
ЮВ	20,8	19,1	22,5	26,6	26,7	23,2	23,5	25,6	23,8	21,6	24,3
Ю	4,6	4,8	3,0	4,2	4,2	7,4	8,5	8,1	6,9	8,1	8,7
ЮЗ	5,8	4,2	7,0	4,3	5,9	6,8	8,4	9,2	10,0	8,1	7,0
З	14,7	15,5	15,1	14,8	13,4	11,2	11,5	10,7	10,6	15,1	9,6
СЗ	12,7	13,3	12,2	11,4	10,3	8,6	8,2	7,3	9,3	9,0	4,3
<i>n</i> случаев	607	601	671	650	649	651	633	617	623	357	115
Вечер											
С	10,1	14,2	12,1	8,3	10,1	10,0	8,0	7,6	7,8	10,1	9,8
СВ	8,6	12,0	12,1	13,2	11,9	9,7	11,6	11,2	10,2	9,5	19,6
В	14,1	10,8	10,7	13,8	16,2	15,5	16,9	19,9	18,6	16,6	27,5
ЮВ	7,3	8,3	9,8	10,6	10,1	13,5	13,4	12,4	14,7	13,1	7,8
Ю	4,0	4,6	2,5	2,0	4,9	5,3	5,6	7,6	6,0	5,0	7,8
ЮЗ	10,4	7,4	12,1	9,8	6,7	8,8	9,8	10,0	9,9	13,6	5,9
З	27,5	30,2	24,2	25,6	25,8	23,2	19,3	17,5	18,6	19,6	11,8
СЗ	18,0	12,3	16,6	16,7	14,2	14,1	15,4	13,9	14,4	12,6	9,8
<i>n</i> случаев	327	324	356	348	345	341	337	331	334	199	51
Ночь											
С	3,5	5,5	4,6	4,4	4,7	4,4	6,1	4,5	5,4	3,6	4,1
СВ	3,8	6,2	4,4	5,5	5,1	5,2	5,8	7,2	7,4	8,5	8,2
В	18,6	20,8	20,5	21,5	21,8	21,5	21,3	21,8	21,6	22,8	40,8
ЮВ	25,2	24,8	28,8	28,1	28,5	28,4	26,2	24,2	25,0	17,9	22,4
Ю	17,1	11,4	8,7	7,5	9,2	10,6	8,2	10,1	10,1	8,9	8,2
ЮЗ	14,8	9,9	12,3	10,1	9,8	9,2	12,2	11,9	9,6	12,9	4,1
З	12,6	15,6	15,4	14,8	15,1	13,7	14,0	13,3	13,2	14,7	4,1
СЗ	4,5	5,7	5,3	8,1	5,9	7,0	6,1	6,9	7,7	10,7	8,2
<i>n</i> случаев	603	614	657	655	643	633	621	595	612	224	49

Повторяемость (%) направлений ветра по данным шаропилотных наблюдений в ПГС  
над ВПП аэропорта «Манас» в весенний период года в различное время суток

Направление	Высота над земной поверхностью, м										
	10	30	40	100	200	300	400	500	600	700	900
Утро											
С	3,5	2,5	3,5	4,0	4,3	5,4	4,9	4,5	3,6	3,7	7,2
СВ	9,6	9,6	11,4	9,4	6,4	5,9	10,6	9,0	12,7	8,4	14,4
В	27,8	23,2	22,9	25,3	23,2	24,3	21,0	24,8	21,0	22,1	20,6
ЮВ	22,2	29,7	29,5	29,8	32,8	27,8	25,6	24,8	23,2	27,4	18,6
Ю	13,5	12,1	7,4	5,9	6,9	7,6	8,4	7,9	10,2	5,3	11,3
ЮЗ	6,4	6,5	9,3	7,3	6,4	9,5	10,4	9,6	9,1	9,5	11,3
З	11,4	9,0	8,8	12,4	12,3	11,9	12,8	13,0	14,4	18,9	9,3
СЗ	5,6	7,3	7,2	5,9	7,7	7,6	6,3	6,5	5,8	4,7	7,2
<i>n</i> случаев	342	354	376	372	375	370	367	355	362	190	97
День											
С	13,8	12,9	13,4	13,1	11,9	11,5	12,1	11,4	11,6	11,0	12,7
СВ	15,9	16,0	15,2	15,5	15,5	13,9	12,9	14,2	14,0	12,1	17,5
В	11,9	12,8	11,6	12,6	11,7	13,4	13,8	14,6	15,1	16,5	11,1
ЮВ	10,4	9,7	11,4	11,1	11,4	10,4	9,6	9,1	9,4	9,1	9,2
Ю	5,9	6,0	5,0	4,8	4,8	4,7	5,8	5,2	4,8	5,7	5,4
ЮЗ	6,1	6,6	9,1	8,1	7,7	8,3	8,4	8,8	8,4	8,6	6,4
З	20,3	20,1	18,3	19,0	20,0	19,9	18,6	18,2	18,8	20,6	18,2
СЗ	15,6	16,0	16,0	15,9	17,1	17,9	18,7	18,5	17,9	16,3	19,4
<i>n</i> случаев	1164	1176	1228	1203	1201	1198	1187	1158	1175	661	314
Вечер											
С	8,7	12,7	9,3	10,1	8,8	9,4	12,2	14,1	15,7	15,9	15,6
СВ	23,8	18,8	25,3	25,7	23,3	17,6	15,7	13,1	12,5	11,4	11,5
В	8,2	12,2	7,1	7,2	8,8	11,1	11,4	11,8	12,8	11,8	14,6
ЮВ	5,9	6,3	4,9	5,2	7,4	6,9	6,9	5,1	5,0	6,4	6,3
Ю	9,2	9,9	8,8	7,4	6,1	6,7	5,8	7,4	6,0	5,0	4,2
ЮЗ	10,0	6,9	10,3	9,7	8,8	11,4	11,7	11,0	10,2	13,2	9,4
З	16,2	19,5	15,5	15,1	17,2	18,3	20,1	19,5	20,6	18,6	24,0
СЗ	17,9	13,7	18,7	19,6	19,4	18,6	16,2	17,9	17,2	17,7	14,6
<i>n</i> случаев	390	394	407	404	407	404	394	390	383	220	96
Ночь											
С	4,2	4,8	2,6	3,3	3,8	4,1	5,9	4,6	3,9	5,7	2,6
СВ	14,5	11,4	15,9	13,3	10,2	10,2	8,6	7,7	8,0	5,7	5,2
В	24,2	26,0	21,7	23,2	24,5	22,4	22,0	21,2	20,7	22,9	16,9
ЮВ	20,2	22,8	25,3	26,8	27,5	25,4	22,7	22,1	19,9	20,7	24,7
Ю	14,4	11,5	9,7	8,3	7,6	9,5	9,9	10,0	12,1	8,6	14,3
ЮЗ	9,1	7,6	8,7	6,3	7,3	7,6	9,0	10,5	10,6	10,7	10,4
З	9,6	11,7	10,7	12,6	12,7	13,0	14,1	15,5	15,4	17,1	15,6
СЗ	3,9	4,2	5,4	6,1	6,4	7,8	7,9	8,3	9,4	8,6	10,4
<i>n</i> случаев	674	693	723	720	714	706	700	697	700	280	77

Повторяемость (%) направлений ветра по данным шаропилотных наблюдений в ПГС  
над ВПП аэропорта «Манас» в летний период года в различное время суток

Направление	Высота над земной поверхностью, м										
	10	30	40	100	200	300	400	500	600	700	900
Утро											
С	1,4	0,7	1,3	0,9	0,4	1,1	0,9	1,1	1,8	4,0	0,8
СВ	5,2	4,8	5,3	5,3	3,8	4,7	4,7	4,0	5,1	5,6	7,1
В	21,8	21,5	26,2	28,3	26,5	25,8	22,8	24,4	23,0	24,6	22,0
ЮВ	38,6	39,4	38,4	35,4	34,3	30,4	29,5	27,1	24,3	24,2	26,0
Ю	18,0	14,0	8,0	6,4	8,3	8,2	9,2	8,5	9,6	5,2	8,7
ЮЗ	7,7	9,0	11,8	9,5	9,2	10,9	10,7	11,7	13,4	12,3	15,7
З	5,9	9,0	7,3	11,1	12,3	13,6	16,5	16,8	15,2	17,1	15,7
СЗ	1,4	1,6	1,8	3,1	5,2	5,3	5,8	6,3	7,6	7,1	3,9
<i>n</i> случаев	427	442	451	452	446	450	448	446	448	252	127
День											
С	10,8	11,9	12,3	11,7	10,6	10,9	10,1	9,6	10,6	12,2	11,4
СВ	11,7	10,6	11,7	12,6	12,7	12,3	12,7	12,9	13,1	11,2	12,8
В	12,3	11,2	10,3	10,5	10,3	10,4	10,9	10,7	9,8	10,1	11,2
ЮВ	12,6	14,2	14,7	13,9	13,0	11,4	9,9	9,3	9,5	7,5	8,6
Ю	8,4	8,3	6,4	6,4	6,1	7,0	6,1	6,5	5,8	4,7	6,7
ЮЗ	10,9	10,4	13,4	12,4	12,4	12,8	12,8	12,4	13,3	13,8	12,4
З	18,8	18,0	16,6	17,2	19,2	19,9	20,7	21,6	21,7	23,4	22,0
СЗ	14,6	15,3	14,5	15,3	15,6	15,4	16,8	17,0	16,3	17,1	14,9
<i>n</i> случаев	1567	1570	1645	1624	1627	1617	1611	1604	1615	930	491
Вечер											
С	3,7	4,4	4,1	3,2	3,7	3,4	3,7	5,1	4,6	6,2	9,2
СВ	16,4	15,5	17,7	18,5	17,6	17,6	15,9	15,2	14,3	13,5	15,1
В	10,0	10,4	6,4	5,0	5,5	6,6	7,4	7,6	7,8	6,6	6,7
ЮВ	9,5	11,1	10,5	11,6	11,9	10,8	10,1	9,4	9,4	8,9	7,6
Ю	15,5	11,5	10,0	9,3	8,0	6,9	6,7	8,1	7,8	8,5	9,2
ЮЗ	21,3	18,7	25,2	23,2	22,2	19,2	19,5	17,1	16,6	13,9	17,6
З	14,6	18,7	17,5	18,2	18,3	22,0	22,5	23,7	23,9	24,3	21,0
СЗ	9,0	9,7	8,6	10,9	12,8	13,5	14,3	13,8	15,6	18,1	13,4
<i>n</i> случаев	432	433	440	439	437	437	435	434	435	259	119
Ночь											
С	1,5	1,8	2,5	2,6	3,5	3,4	3,8	3,9	5,3	4,5	4,2
СВ	9,3	8,4	12,6	12,8	11,4	10,1	9,2	9,0	8,4	9,6	8,5
В	25,8	21,4	21,7	23,7	23,4	24,2	24,3	23,3	23,4	21,7	21,8
ЮВ	31,7	34,6	33,4	32,8	31,7	30,2	26,5	25,4	21,9	19,3	21,1
Ю	17,1	16,3	12,8	9,8	10,1	8,8	10,7	11,5	13,4	13,0	9,9
ЮЗ	7,7	8,9	8,7	8,8	8,5	9,2	9,2	9,5	8,7	9,3	12,0
З	4,7	6,8	4,9	5,9	7,0	7,7	9,0	9,2	10,3	12,0	10,6
СЗ	2,0	1,8	3,5	3,5	4,4	6,5	7,3	8,2	8,6	10,5	12,0
<i>n</i> случаев	782	785	803	796	799	795	793	791	790	332	142



Повторяемость (%) направлений ветра по данным шаропилотных наблюдений в ПГС  
над ВПП аэропорта «Манас» в осенний период года в различное время суток.

Направление	Высота над земной поверхностью, м										
	10	30	40	100	200	300	400	500	600	700	900
Утро											
С	2,7	3,0	2,3	2,3	2,1	2,3	2,6	3,2	3,7	5,2	4,2
СВ	4,1	3,8	5,0	5,1	5,4	4,9	7,3	6,4	7,7	8,9	10,5
В	19,8	17,1	18,5	20,7	20,3	21,3	18,4	17,6	16,2	16,4	16,8
ЮВ	28,3	34,8	38,1	37,8	34,4	29,3	26,9	26,5	27,4	26,8	20,0
Ю	23,9	16,0	11,5	9,2	11,8	13,4	13,2	13,6	11,4	6,1	11,6
ЮЗ	10,3	10,3	10,8	9,4	8,2	11,1	11,4	11,5	12,2	13,6	16,8
З	9,2	11,4	9,0	11,0	11,6	10,8	14,5	14,7	13,3	16,0	11,6
СЗ	1,6	3,5	4,8	4,6	6,2	6,9	5,7	6,4	8,0	7,0	8,4
<i>n случаев</i>	368	368	399	392	389	389	386	374	376	213	95
День											
С	10,6	15,9	14,9	14,3	14,0	13,8	14,7	15,3	16,0	16,3	15,4
СВ	10,2	10,0	10,0	10,1	9,1	8,5	7,7	8,6	8,3	10,3	6,3
В	13,4	11,1	10,3	9,7	8,6	10,7	10,6	10,7	10,2	10,1	11,0
ЮВ	8,8	11,0	10,6	11,7	12,8	12,2	12,1	12,1	11,3	13,1	10,3
Ю	5,1	4,6	5,0	5,1	5,1	5,6	5,0	5,1	5,7	4,1	5,1
ЮЗ	7,2	6,1	7,3	6,4	7,3	6,1	6,1	6,6	5,8	6,4	3,7
З	21,9	20,6	19,8	20,2	17,6	19,1	20,9	19,7	20,9	21,5	23,5
СЗ	22,7	20,7	22,0	22,5	25,6	24,1	22,9	21,9	21,8	18,1	24,6
<i>n случаев</i>	968	971	1054	1032	1027	1023	1021	1005	1018	563	272
Вечер											
С	11,2	14,2	12,3	12,6	14,3	11,0	10,3	10,5	11,5	17,1	8,9
СВ	11,2	10,4	13,2	13,1	10,3	10,5	10,0	11,0	9,4	3,4	6,7
В	6,0	7,6	7,2	9,0	8,1	8,8	8,3	7,9	7,9	8,8	11,1
ЮВ	7,6	8,1	7,5	6,5	8,6	8,3	7,5	8,7	8,1	9,8	4,4
Ю	15,4	9,6	5,8	6,3	4,7	5,3	5,0	4,1	5,1	4,9	5,6
ЮЗ	9,9	13,5	13,2	9,2	10,8	9,0	10,5	9,9	8,9	7,3	10,0
З	17,8	17,5	18,5	20,1	19,7	23,1	23,0	25,0	27,2	22,9	33,3
СЗ	20,9	19,0	22,4	23,2	23,4	24,1	25,5	23,0	21,9	25,9	20,0
<i>n случаев</i>	383	394	416	413	406	399	400	392	393	205	90
Ночь											
С	1,3	2,9	2,9	2,6	3,5	3,8	5,0	5,0	5,3	4,2	4,8
СВ	7,5	5,6	7,9	7,0	6,5	6,3	5,3	5,8	5,6	7,2	6,0
В	17,1	15,8	17,1	20,5	19,8	17,9	17,2	15,5	15,8	16,2	12,7
ЮВ	28,3	30,9	33,8	32,9	32,6	30,7	30,1	29,0	26,8	26,8	27,7
Ю	23,6	18,5	12,8	11,3	10,7	11,8	11,8	12,8	13,0	10,1	12,7
ЮЗ	10,3	10,9	10,6	8,4	7,4	9,3	9,7	10,9	10,5	10,1	9,6
З	8,2	11,2	10,4	11,0	11,4	12,2	12,1	12,5	14,2	15,8	13,9
СЗ	3,7	4,0	4,5	6,4	8,0	8,1	8,9	8,4	8,7	9,6	12,7
<i>n случаев</i>	1052	1089	1145	1131	1128	1113	1101	1081	1081	456	166

Приложение 6

Статистические характеристики модуля скорости ветра и повторяемость штилей  
в зимний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Статистики							Штиль, %
	$n$	$\bar{V}$ , м/с	$C(V)$	$A(V)$	$E(V)$	$\bar{V}_m$ , м/с	$V_m$ , м/с	
Утро								
10	260	2,7	0,75	1,12	1,84	9	11	11,2
30	256	3,7	0,66	0,81	0,81	11	12	9,4
40	260	3,8	0,66	1,05	1,02	11	13	2,3
100	260	4,7	0,69	0,85	0,07	13	15	4,2
200	257	5,0	0,73	1,07	0,49	14	16	1,6
300	255	4,7	0,75	1,19	0,93	14	18	2,0
400	249	4,5	0,79	1,51	2,56	16	21	2,4
500	243	4,3	0,73	1,28	1,34	12	15	2,1
600	247	4,5	0,76	1,96	5,91	15	25	1,6
700	133	3,9	0,85	1,79	3,77	11	18	4,5
900	45	4,9	0,67	1,28	1,90	10	16	0,0
День								
10	689	2,6	0,73	0,95	0,99	9	10	11,9
30	667	2,9	0,74	1,18	1,64	11	12	9,9
40	683	3,0	0,72	1,50	2,80	11	14	1,8
100	684	3,5	0,77	1,31	1,71	13	16	5,0
200	680	3,8	0,76	1,27	1,42	13	15	4,6
300	674	3,7	0,78	1,59	3,01	14	19	3,4
400	670	3,8	0,81	1,57	3,06	15	19	5,5
500	652	3,8	0,77	1,43	2,72	14	19	5,4
600	656	3,8	0,77	1,60	3,86	14	19	5,0
700	388	3,6	0,81	1,68	4,69	14	20	8,0
900	116	4,4	0,71	1,24	1,68	10	16	0,9
Вечер								
10	365	2,5	0,70	1,08	1,70	8	9	10,4
30	352	3,1	0,63	0,95	1,89	9	12	8,0
40	362	3,0	0,63	1,68	5,28	10	14	1,7
100	363	3,3	0,69	1,39	2,61	11	13	4,1
200	362	3,4	0,71	1,56	3,50	13	14	4,7
300	355	3,3	0,68	1,43	2,96	11	14	3,9
400	349	3,3	0,67	1,47	3,13	11	14	3,4
500	340	3,3	0,67	1,37	2,94	10	14	2,6
600	345	3,4	0,67	1,44	3,38	11	14	3,2
700	210	3,3	0,77	1,53	3,20	12	14	5,2
900	53	4,1	0,61	1,37	2,46	7	12	3,8
Ночь								
10	691	2,4	0,73	1,00	1,34	8	9	12,7
30	672	3,1	0,66	0,73	0,41	9	10	8,6
40	673	2,9	0,67	1,32	2,42	11	12	2,4
100	687	3,4	0,73	1,22	1,62	12	16	4,7
200	682	3,5	0,75	1,18	1,30	11	15	5,7
300	672	3,5	0,78	1,58	3,81	14	21	5,8
400	657	3,5	0,74	1,48	3,13	14	17	5,5
500	628	3,4	0,69	1,31	2,81	13	16	5,3
600	644	3,4	0,72	1,52	3,92	14	16	5,0
700	242	2,9	0,77	1,66	4,90	11	16	7,4
900	52	3,8	0,67	0,56	-0,20	6	11	5,8

Статистические характеристики модуля скорости ветра и повторяемость штилей  
в весенний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Статистики							Штиль, %
	$n$	$\bar{V}$ , м/с	$C(V)$	$A(V)$	$E(V)$	$\bar{V}_M$ , м/с	$V_M$ , м/с	
Утро								
10	380	2,6	0,69	0,99	1,65	8	11	10,0
30	379	3,4	0,63	1,04	2,25	11	14	6,6
40	380	3,4	0,61	1,30	2,62	10	14	1,1
100	380	4,2	0,63	1,15	1,78	12	15	2,1
200	380	4,5	0,69	1,66	4,96	16	23	1,3
300	377	4,4	0,69	1,54	4,09	15	22	1,9
400	375	4,3	0,72	1,67	4,16	15	21	2,1
500	364	4,2	0,70	1,83	5,79	16	21	2,5
600	368	4,2	0,71	2,24	9,02	16	23	1,9
700	195	4,3	0,83	2,71	11,32	16	25	2,6
900	97	4,0	0,63	0,91	0,46	10	12	0,0
День								
10	1245	3,2	0,67	1,19	2,15	12	14	6,5
30	1238	3,8	0,64	1,16	2,15	14	17	5,0
40	1242	3,4	0,65	1,47	3,92	14	17	1,1
100	1247	3,7	0,66	1,19	1,92	14	18	3,5
200	1243	3,9	0,72	1,49	2,96	17	19	3,4
300	1236	4,0	0,73	1,73	4,50	18	22	3,1
400	1225	4,0	0,74	1,80	5,16	18	22	3,1
500	1197	4,0	0,71	1,84	5,85	19	23	3,3
600	1213	4,0	0,68	1,82	6,70	20	25	3,1
700	684	3,8	0,68	1,40	2,91	14	17	3,4
900	324	4,1	0,72	2,17	11,18	14	27	3,1
Вечер								
10	407	3,4	0,58	0,82	0,75	9	11	4,2
30	406	4,2	0,55	0,76	1,07	11	14	3,0
40	410	4,0	0,55	1,20	2,60	12	14	0,7
100	410	4,7	0,55	0,77	0,70	13	16	1,5
200	410	4,9	0,60	0,99	0,73	14	16	0,7
300	408	4,6	0,66	1,20	1,32	14	16	1,0
400	401	4,4	0,68	1,31	2,00	15	17	1,7
500	394	4,1	0,69	2,00	6,27	16	20	1,0
600	392	4,1	0,75	2,63	12,02	17	27	2,3
700	227	3,9	0,91	4,90	39,95	19	38	3,1
900	100	3,6	0,85	3,18	16,12	11	23	4,0
Ночь								
10	733	2,7	0,61	0,94	2,24	8	10	8,0
30	719	3,4	0,52	0,75	1,92	10	13	3,6
40	730	3,4	0,51	0,79	0,97	9	11	1,0
100	730	4,2	0,56	0,94	1,24	13	15	1,4
200	729	4,3	0,61	1,15	2,19	14	17	2,1
300	726	4,1	0,66	1,38	2,94	16	18	2,8
400	720	4,0	0,67	1,56	4,63	17	21	2,8
500	716	3,8	0,64	1,37	3,39	14	16	2,7
600	717	3,8	0,63	1,48	4,86	14	20	2,4
700	291	3,8	0,68	2,12	10,58	12	23	3,8
900	79	3,7	0,73	1,56	3,20	9	15	2,5

Статистические характеристики модуля скорости ветра и повторяемость штилей  
в летний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Статистики							Штиль, %
	$n$	$\bar{V}$ , м/с	$C(V)$	$A(V)$	$E(V)$	$\bar{V}_{.м}$ , м/с	$V_{м}$ , м/с	
Утро								
10	453	2,9	0,58	0,79	1,21	8	10	5,7
30	451	3,8	0,50	0,66	0,70	9	11	2,0
40	454	3,9	0,51	0,89	0,96	10	12	0,7
100	454	5,2	0,52	0,76	0,42	13	15	0,4
200	453	5,6	0,58	0,90	1,43	16	22	1,5
300	453	5,4	0,57	0,90	0,94	15	18	0,7
400	454	5,0	0,58	0,90	0,64	14	16	1,3
500	453	4,7	0,58	1,15	1,81	14	16	1,5
600	454	4,6	0,59	1,42	3,38	15	18	1,3
700	255	4,7	0,64	1,52	3,90	14	20	1,2
900	128	4,4	0,54	0,99	1,54	10	14	0,8
День								
10	1661	3,4	0,62	0,84	0,81	10	12	5,7
30	1650	3,8	0,61	0,82	0,77	12	14	4,8
40	1661	3,5	0,61	1,16	1,67	12	14	1,0
100	1661	3,9	0,65	1,16	1,51	14	15	2,2
200	1660	4,3	0,72	1,63	3,88	18	22	2,0
300	1658	4,2	0,73	1,48	2,74	17	20	2,5
400	1659	4,1	0,72	1,55	3,51	19	23	2,9
500	1653	4,1	0,68	1,44	3,01	17	20	3,0
600	1657	4,1	0,68	1,52	3,61	18	22	2,5
700	954	4,0	0,68	1,48	3,53	16	21	2,5
900	501	4,2	0,70	1,47	2,70	14	18	2,0
Вечер								
10	440	3,4	0,53	0,98	1,40	9	12	1,8
30	439	4,3	0,46	0,63	0,82	11	12	1,4
40	441	4,4	0,46	0,60	0,40	10	11	0,2
100	441	5,6	0,48	0,44	-0,34	12	14	0,5
200	440	6,4	0,57	0,97	1,07	18	21	0,7
300	440	6,0	0,59	0,94	0,65	17	19	0,7
400	440	5,7	0,59	0,92	0,82	15	18	1,1
500	440	5,3	0,60	0,99	0,84	15	17	1,4
600	439	5,2	0,60	1,26	2,19	15	21	0,9
700	265	5,0	0,68	1,95	6,82	17	27	2,3
900	119	4,8	0,58	1,05	0,85	12	15	0,0
Ночь								
10	807	3,4	0,52	0,90	1,66	10	12	3,1
30	799	4,3	0,44	0,51	1,04	10	13	1,8
40	805	4,3	0,46	0,80	1,42	12	14	0,2
100	804	5,5	0,51	0,57	0,12	14	18	1,0
200	803	5,9	0,55	0,81	0,62	16	20	0,5
300	802	5,7	0,58	0,85	0,38	15	17	0,9
400	803	5,4	0,60	1,09	1,47	15	20	1,2
500	800	5,0	0,61	1,20	1,82	15	18	1,1
600	799	4,7	0,62	1,32	2,50	15	19	1,1
700	337	4,8	0,66	1,28	2,08	14	18	1,5
900	143	4,2	0,67	1,80	4,71	12	17	0,7

Статистические характеристики модуля скорости ветра и повторяемость штилей  
в осенний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Статистики							Штиль, %
	$n$	$\bar{V}$ , м/с	$C(V)$	$A(V)$	$E(V)$	$\bar{V}_M$ , м/с	$V_M$ , м/с	
Утро								
10	403	2,3	0,69	1,26	2,62	8	10	8,7
30	391	3,0	0,67	1,51	3,96	11	12	5,9
40	404	3,3	0,67	1,65	3,74	11	14	1,2
100	404	4,1	0,67	1,23	1,56	14	21	3,0
200	402	4,3	0,71	1,40	2,44	20	42	3,2
300	399	4,0	0,73	1,31	1,80	18	38	2,5
400	398	3,9	0,76	1,79	4,62	14	18	3,0
500	392	3,8	0,70	1,43	2,87	13	16	4,6
600	390	4,0	0,66	1,54	3,91	13	16	3,6
700	217	4,1	0,67	1,63	4,02	12	18	1,8
900	101	3,6	0,65	0,93	1,27	9	12	5,9
День								
10	1075	2,7	0,71	1,34	3,58	11	15	10,0
30	1051	3,0	0,67	1,18	2,90	14	18	7,6
40	1080	2,8	0,68	1,57	4,22	12	16	2,4
100	1081	3,2	0,71	1,42	3,02	13	17	4,5
200	1081	3,3	0,76	1,75	4,78	14	18	5,0
300	1074	3,4	0,76	1,83	5,17	15	18	4,7
400	1071	3,4	0,75	1,91	6,08	16	20	4,7
500	1050	3,5	0,71	1,73	4,87	14	18	4,4
600	1063	3,6	0,69	1,50	3,70	15	17	4,2
700	584	3,7	0,69	1,46	2,99	13	16	3,6
900	289	3,5	0,71	1,68	5,26	12	17	5,9
Вечер								
10	417	2,7	0,63	1,04	2,36	8	11	8,2
30	411	3,3	0,53	0,59	0,89	9	10	3,9
40	418	3,2	0,53	0,75	0,42	9	9	0,5
100	418	3,9	0,58	0,94	1,13	11	13	1,2
200	417	3,9	0,67	1,31	2,47	13	16	2,6
300	412	3,8	0,71	1,44	2,73	14	16	3,2
400	413	3,8	0,73	1,60	3,88	14	18	3,1
500	404	3,8	0,68	1,43	3,14	13	17	3,0
600	407	3,9	0,69	1,48	3,30	14	16	3,4
700	207	3,9	0,70	1,89	6,35	13	20	1,0
900	96	3,8	0,69	1,35	3,91	10	16	6,3
Ночь								
10	1162	2,6	0,68	1,15	2,23	9	11	9,5
30	1140	3,5	0,57	0,83	1,32	11	13	4,5
40	1162	3,3	0,58	1,18	2,28	11	12	1,5
100	1162	4,0	0,63	1,06	1,35	13	16	2,7
200	1158	4,2	0,66	1,34	2,82	15	20	2,6
300	1150	4,1	0,70	1,43	3,12	17	21	3,2
400	1145	3,9	0,71	1,55	3,96	17	23	3,8
500	1127	3,8	0,71	1,85	6,47	18	23	4,1
600	1125	3,7	0,70	1,60	4,21	16	20	3,9
700	473	3,6	0,70	1,58	3,59	12	18	3,6
900	176	3,9	0,81	2,15	6,68	12	19	5,7

Приложение 7

Статистические характеристики зональной и меридиональной составляющих скорости ветра  
в зимний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Зональная составляющая					Меридиональная составляющая				
	$n$	$\bar{V}_x$ , м/с	$\sigma(V_x)$ , м/с	$A(V_x)$	$E(V_x)$	$n$	$\bar{V}_y$ , м/с	$\sigma(V_y)$ , м/с	$A(V_y)$	$E(V_y)$
Утро										
10	260	-1,16	2,33	-0,32	0,92	260	1,13	1,74	-0,08	1,91
30	256	-1,72	3,20	-0,04	0,42	256	1,28	2,25	0,13	1,03
40	260	-2,08	3,13	-0,12	0,27	260	1,27	2,23	0,02	1,36
100	260	-2,71	3,93	0,09	0,32	260	1,56	2,83	0,23	1,92
200	257	-2,82	4,32	-0,15	0,93	257	1,52	3,08	0,14	0,99
300	255	-2,37	4,29	-0,07	1,41	255	1,20	3,12	-0,15	1,73
400	249	-2,02	4,25	-0,08	2,00	249	1,11	3,13	-0,21	3,33
500	243	-1,65	3,99	0,21	1,54	243	1,06	2,90	0,29	1,87
600	247	-1,63	4,36	-0,27	2,21	247	1,00	3,07	-0,20	3,06
700	132	-1,32	4,04	-0,36	2,45	132	0,88	2,63	0,97	3,31
900	46	-2,05	4,78	1,11	2,84	46	1,29	2,48	-0,07	1,87
День										
10	689	-0,68	2,57	-0,09	0,20	689	0,22	1,79	0,18	1,42
30	667	-0,76	2,89	-0,20	0,43	667	0,11	2,07	0,17	1,93
40	683	-0,99	2,94	-0,34	0,25	683	0,32	2,01	-0,22	3,43
100	684	-1,43	3,48	-0,37	0,40	684	0,49	2,32	-0,08	2,58
200	680	-1,62	3,62	-0,38	0,60	680	0,54	2,60	0,08	1,87
300	674	-1,59	3,55	-0,50	1,14	674	0,60	2,58	0,45	5,10
400	670	-1,43	3,74	-0,47	1,49	670	0,59	2,70	0,24	4,79
500	652	-1,41	3,66	-0,29	1,11	652	0,63	2,71	0,23	4,69
600	655	-1,29	3,73	-0,29	1,31	655	0,57	2,79	0,06	5,94
700	388	-1,02	3,64	-0,72	2,29	388	0,38	2,57	-0,08	2,88
900	116	-2,03	4,44	0,30	1,71	116	0,49	2,44	-0,45	1,59
Вечер										
10	365	0,54	2,63	-0,24	0,90	365	-0,15	1,51	-0,07	0,98
30	352	0,57	2,94	-0,15	0,25	352	-0,31	1,99	-0,01	1,43
40	362	0,51	2,87	-0,07	1,39	362	-0,17	1,92	0,16	2,01
100	363	0,38	3,29	-0,22	0,86	363	-0,25	2,15	0,16	3,04
200	361	0,23	3,49	-0,36	1,32	361	-0,26	2,23	0,07	1,83
300	355	0,18	3,33	-0,24	1,24	355	-0,16	2,22	0,03	1,44
400	349	0,09	3,31	-0,03	1,39	349	-0,09	2,28	0,10	1,46
500	340	-0,06	3,32	0,00	1,18	340	-0,11	2,26	-0,03	1,13
600	345	0,03	3,43	0,10	1,25	345	-0,13	2,26	-0,07	1,57
700	210	0,19	3,36	-0,02	2,10	210	-0,07	2,35	0,10	2,02
900	53	-1,21	3,93	0,43	1,03	53	-0,45	2,42	-0,73	1,39
Ночь										
10	691	-0,47	2,24	-0,06	0,53	691	0,95	1,53	0,59	1,32
30	672	-0,74	2,90	0,04	0,01	672	0,96	1,97	0,51	0,99
40	674	-0,89	2,88	-0,23	0,31	674	0,92	1,64	0,26	1,19
100	687	-1,20	3,47	-0,25	0,71	687	0,90	1,92	0,05	1,29
200	682	-1,19	3,55	-0,29	0,84	682	0,95	1,99	0,13	1,46
300	672	-1,05	3,56	-0,31	2,19	672	0,92	2,14	0,41	3,20
400	656	-0,88	3,46	0,10	1,51	656	0,81	2,25	0,21	2,31
500	628	-0,73	3,40	0,35	1,38	628	0,73	2,17	0,27	1,98
600	644	-0,69	3,44	0,33	2,22	644	0,65	2,26	0,32	1,91
700	242	-0,17	3,16	0,71	3,07	242	0,40	1,91	0,57	2,40
900	52	-2,07	3,60	0,10	0,27	52	0,46	1,84	-0,12	0,34



Статистические характеристики зональной и меридиональной составляющих скорости ветра  
в весенний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Зональная составляющая					Меридиональная составляющая				
	$n$	$\overline{Vx}$ , м/с	$\sigma(Vx)$ , м/с	$A(Vx)$	$E(Vx)$	$n$	$\overline{Vy}$ , м/с	$\sigma(Vy)$ , м/с	$A(Vy)$	$E(Vy)$
Утро										
10	380	-0,79	2,41	0,38	0,85	380	0,62	1,82	0,42	1,16
30	379	-1,18	2,94	0,51	0,92	379	0,86	2,34	0,33	1,08
40	380	-1,33	3,03	0,41	0,60	380	0,75	2,18	0,26	1,35
100	380	-1,74	3,80	0,20	0,13	380	0,85	2,53	0,24	1,20
200	380	-1,67	4,33	-0,01	1,53	380	0,93	2,68	0,30	1,06
300	377	-1,35	4,37	-0,01	1,47	377	0,91	2,64	0,16	0,55
400	375	-1,10	4,37	-0,13	1,81	375	0,91	2,74	0,36	1,03
500	364	-1,06	4,18	-0,02	2,17	364	0,82	2,67	0,45	1,56
600	368	-0,89	4,21	-0,01	3,20	368	0,71	2,73	0,63	2,32
700	194	-0,80	4,62	-0,66	4,34	194	0,87	2,82	1,37	5,14
900	97	-1,29	3,41	-0,05	0,63	97	0,43	3,04	-0,55	1,16
День										
10	1245	0,25	3,02	0,16	0,69	1245	-0,68	2,35	-0,35	1,08
30	1238	0,22	3,47	0,02	0,78	1238	-0,77	2,69	-0,10	0,81
40	1242	0,22	3,13	0,23	1,15	1242	-0,54	2,42	-0,09	0,96
100	1247	0,13	3,52	0,12	0,77	1247	-0,57	2,67	-0,02	1,02
200	1243	0,15	3,86	0,11	1,50	1243	-0,56	2,81	0,09	1,43
300	1236	0,29	4,02	0,21	1,89	1236	-0,53	2,80	0,00	1,83
400	1225	0,42	4,03	0,37	2,59	1225	-0,54	2,75	-0,02	1,35
500	1197	0,38	3,96	0,38	2,64	1197	-0,50	2,75	0,17	1,51
600	1213	0,42	4,01	0,33	2,58	1213	-0,55	2,69	0,16	1,00
700	684	0,39	3,78	0,12	0,97	684	-0,39	2,51	0,34	2,29
900	319	0,32	4,12	0,71	4,57	319	-0,81	2,78	0,20	1,44
Вечер										
10	407	0,15	3,03	0,01	-0,01	407	-0,68	2,44	0,22	0,13
30	406	0,07	3,74	-0,01	0,08	406	-0,72	2,90	0,39	0,19
40	410	0,19	3,41	-0,11	0,19	410	-0,79	2,91	0,26	0,28
100	410	0,04	4,13	-0,13	-0,33	410	-0,91	3,35	0,64	0,45
200	410	0,04	4,56	-0,25	0,08	410	-1,00	3,35	0,28	0,33
300	408	0,29	4,35	-0,29	0,57	408	-0,83	3,30	-0,03	1,08
400	401	0,45	4,16	-0,22	1,04	401	-0,72	3,12	-0,03	1,69
500	394	0,53	3,90	-0,19	1,98	394	-0,70	2,96	-0,13	3,74
600	392	0,67	4,04	-0,32	4,74	392	-0,73	3,03	-0,05	4,30
700	227	0,92	4,22	-1,44	17,96	227	-0,77	2,91	-1,26	9,78
900	100	0,48	3,96	-0,58	4,96	100	-0,47	2,60	2,37	12,55
Ночь										
10	733	-0,87	2,40	0,50	1,20	733	0,52	1,81	-0,08	0,32
30	719	-1,10	2,90	0,47	0,29	719	0,68	2,23	-0,02	0,47
40	730	-1,25	2,91	0,48	0,05	730	0,61	2,14	0,02	0,26
100	730	-1,59	3,74	0,44	0,47	730	0,68	2,48	0,13	-0,03
200	729	-1,49	3,98	0,44	1,00	729	0,71	2,56	0,08	0,54
300	726	-1,17	4,02	0,38	1,56	726	0,71	2,58	0,00	0,62
400	720	-0,94	3,93	0,27	2,04	720	0,71	2,49	0,04	0,73
500	716	-0,72	3,73	0,30	1,24	716	0,74	2,40	0,10	0,66
600	717	-0,52	3,72	0,24	1,19	717	0,74	2,41	0,11	1,10
700	291	-0,43	3,96	0,00	2,12	291	0,59	2,32	-0,08	3,42
900	79	0,09	3,46	0,84	1,72	79	0,82	2,88	-0,47	2,16

Статистические характеристики зональной и меридиональной составляющих скорости ветра  
в летний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Зональная составляющая					Меридиональная составляющая				
	$n$	$\bar{V}_x$ , м/с	$\sigma(V_x)$ , м/с	$A(V_x)$	$E(V_x)$	$n$	$\bar{V}_y$ , м/с	$\sigma(V_y)$ , м/с	$A(V_y)$	$E(V_y)$
Утро										
10	453	-1,26	2,30	0,55	0,88	453	1,30	1,61	0,35	2,91
30	451	-1,50	2,99	0,63	0,54	451	1,74	1,95	-0,01	0,55
40	454	-1,84	3,22	0,47	0,12	454	1,53	1,87	-0,11	0,61
100	454	-2,43	4,36	0,43	-0,07	454	1,77	2,44	0,03	0,12
200	453	-2,36	4,90	0,30	-0,19	453	1,71	3,00	0,76	4,44
300	453	-1,91	5,03	0,23	0,03	453	1,54	2,85	0,15	0,83
400	454	-1,28	4,75	0,36	0,02	454	1,48	2,70	-0,14	2,35
500	453	-0,91	4,49	0,26	0,20	453	1,33	2,49	-0,05	1,84
600	454	-0,75	4,45	0,26	0,64	454	1,20	2,54	-0,16	1,91
700	255	-0,78	4,64	0,42	1,10	255	1,01	2,71	-0,03	1,80
900	128	-0,59	4,15	0,16	-0,05	128	1,17	2,39	-0,39	0,80
День										
10	1661	0,36	3,07	0,07	0,23	1661	-0,18	2,45	-0,11	0,43
30	1650	0,37	3,33	-0,03	0,27	1650	-0,20	2,88	-0,10	0,45
40	1661	0,39	3,10	0,14	0,45	1661	-0,03	2,60	0,14	0,50
100	1661	0,33	3,67	-0,02	0,68	1661	-0,07	2,93	0,12	0,73
200	1660	0,40	4,14	0,05	1,44	1660	-0,13	3,21	0,17	1,96
300	1658	0,50	4,18	0,04	1,40	1658	-0,15	3,12	0,15	1,62
400	1659	0,67	4,08	0,14	1,60	1659	-0,22	2,97	0,05	1,79
500	1653	0,77	3,93	0,10	1,32	1653	-0,30	2,85	0,03	1,45
600	1657	0,85	3,93	0,20	1,53	1657	-0,34	2,89	0,19	1,60
700	954	0,94	3,82	0,05	1,72	954	-0,39	2,88	0,21	1,85
900	501	0,95	4,09	0,39	1,16	501	-0,49	2,86	-0,31	1,43
Вечер										
10	439	0,11	3,01	-0,07	-0,15	439	0,48	2,39	-0,23	0,20
30	438	0,22	3,61	-0,28	-0,56	438	0,45	2,94	-0,01	-0,38
40	440	0,36	3,66	-0,23	-0,75	440	0,54	3,11	-0,14	-0,43
100	440	0,46	4,82	-0,24	-0,82	440	0,44	3,92	-0,06	-0,56
200	440	0,44	5,78	-0,35	-0,28	440	0,19	4,55	0,04	0,17
300	440	0,51	5,57	-0,41	-0,12	440	0,06	4,19	-0,07	-0,08
400	440	0,81	5,20	-0,47	0,27	440	-0,01	3,91	-0,10	-0,10
500	440	0,91	4,92	-0,40	0,34	440	-0,04	3,64	0,01	0,04
600	438	0,98	4,85	-0,42	0,87	438	-0,06	3,50	0,14	0,28
700	265	0,94	5,03	-0,83	4,03	265	-0,24	3,36	0,16	0,70
900	119	1,23	4,40	0,19	0,37	119	-0,06	3,20	0,14	0,03
Ночь										
10	807	-1,62	2,48	0,53	0,82	807	1,11	2,12	-0,50	1,32
30	799	-1,73	3,15	0,63	0,22	799	1,66	2,59	-0,54	0,53
40	805	-2,10	3,19	0,45	0,08	805	1,23	2,62	-0,55	1,09
100	804	-2,75	4,21	0,53	0,05	804	1,26	3,32	-0,38	0,83
200	803	-2,84	4,76	0,29	0,05	803	1,09	3,60	-0,17	0,54
300	802	-2,50	4,77	0,09	-0,04	802	0,88	3,60	-0,27	0,79
400	803	-1,93	4,74	0,00	0,50	803	0,82	3,55	-0,22	1,04
500	800	-1,56	4,40	-0,01	0,58	800	0,69	3,37	-0,41	1,82
600	799	-1,26	4,27	-0,13	0,81	799	0,60	3,31	-0,36	1,87
700	337	-1,09	4,55	-0,16	0,67	337	0,39	3,44	-0,72	2,57
900	143	-0,72	4,10	0,10	2,69	143	0,40	2,85	-0,24	1,28

Статистические характеристики зональной и меридиональной составляющих скорости ветра  
в осенний период года на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Высота, м	Зональная составляющая					Меридиональная составляющая				
	$n$	$\overline{Vx}$ , м/с	$\sigma(Vx)$ , м/с	$A(Vx)$	$E(Vx)$	$n$	$\overline{Vy}$ , м/с	$\sigma(Vy)$ , м/с	$A(Vy)$	$E(Vy)$
Утро										
10	403	-0,70	2,05	0,02	1,37	403	1,10	1,49	0,42	1,82
30	391	-0,93	2,63	-0,33	1,04	391	1,39	1,86	0,40	1,08
40	404	-1,29	3,06	-0,22	1,18	404	1,32	1,86	-0,10	2,17
100	404	-1,66	3,94	-0,17	1,51	404	1,43	2,29	0,04	1,72
200	402	-1,58	4,60	-1,66	14,00	402	1,43	2,53	0,25	1,29
300	399	-1,20	4,31	-1,33	10,40	399	1,24	2,48	0,08	2,11
400	398	-0,95	3,98	-0,55	2,04	398	1,14	2,41	0,01	1,33
500	392	-0,75	3,75	-0,18	1,11	392	1,08	2,48	0,08	1,41
600	390	-0,68	3,80	-0,26	1,46	390	0,96	2,56	-0,25	1,21
700	217	-0,66	3,87	-0,32	0,78	217	0,84	2,84	0,08	2,50
900	101	-0,34	3,41	0,24	0,82	101	0,67	2,46	-0,40	0,79
День										
10	1075	0,57	2,61	0,29	1,62	1075	-0,48	1,81	-0,02	1,15
30	1051	0,47	2,84	0,31	2,45	1051	-0,61	2,23	0,11	1,17
40	1080	0,53	2,65	0,04	1,71	1080	-0,50	2,00	0,20	1,89
100	1081	0,51	3,06	-0,16	1,55	1081	-0,52	2,35	0,21	2,06
200	1081	0,47	3,31	-0,30	3,37	1081	-0,47	2,44	0,46	1,49
300	1074	0,48	3,36	-0,21	3,33	1074	-0,48	2,44	0,45	1,93
400	1071	0,55	3,37	-0,16	3,46	1071	-0,48	2,40	0,16	1,67
500	1051	0,54	3,37	-0,29	3,01	1051	-0,53	2,42	0,25	1,33
600	1063	0,62	3,46	-0,30	2,23	1063	-0,61	2,50	0,27	1,11
700	584	0,62	3,55	-0,05	1,89	584	-0,61	2,60	0,25	0,89
900	289	0,67	3,46	-0,41	2,94	289	-0,58	2,31	-0,04	1,72
Вечер										
10	417	0,58	2,34	0,10	1,21	417	-0,20	1,99	0,04	-0,28
30	410	0,66	2,76	-0,14	0,30	410	-0,32	2,49	0,13	-0,50
40	418	0,76	2,78	-0,32	0,26	418	-0,40	2,23	0,35	-0,22
100	418	0,83	3,49	-0,28	0,62	418	-0,70	2,58	0,21	0,11
200	417	0,93	3,63	-0,28	1,26	417	-0,75	2,80	0,24	1,30
300	412	1,05	3,57	-0,11	1,28	412	-0,71	2,79	0,03	2,44
400	413	1,15	3,59	0,05	1,24	413	-0,71	2,82	-0,34	2,54
500	404	1,15	3,55	-0,18	1,02	404	-0,64	2,66	-0,45	2,50
600	407	1,22	3,62	-0,02	1,37	407	-0,70	2,62	-0,30	2,25
700	207	1,07	3,55	0,03	2,36	207	-0,70	2,90	0,09	1,50
900	96	1,26	3,81	-0,10	1,75	96	-0,42	2,29	0,16	0,66
Ночь										
10	1161	-0,61	2,31	0,62	1,80	1161	1,04	1,81	-0,26	2,40
30	1140	-0,72	2,98	0,63	0,89	1140	1,35	2,24	-0,29	0,87
40	1162	-1,04	2,89	0,32	0,64	1162	1,13	1,98	-0,19	0,75
100	1162	-1,40	3,69	0,38	0,74	1162	1,19	2,43	-0,12	0,80
200	1158	-1,33	3,93	0,32	1,43	1158	1,11	2,58	0,06	1,02
300	1150	-1,02	3,93	0,18	1,99	1150	1,09	2,64	0,03	1,43
400	1145	-0,84	3,84	0,04	2,36	1145	0,99	2,61	-0,02	1,71
500	1127	-0,66	3,73	0,07	3,20	1127	0,96	2,47	-0,01	1,75
600	1125	-0,45	3,67	0,22	2,10	1125	0,88	2,47	-0,04	1,46
700	473	-0,34	3,67	0,06	1,62	473	0,80	2,26	0,40	0,91
900	176	-0,18	3,95	0,35	3,45	176	0,84	3,03	-0,06	4,06

Повторяемости градаций ВСВ (доли единицы) в различные периоды года  
и различные часы суток для слоя 10–40 м

Время суток	Критерий сдвига	Верхняя граница класса $\beta_p, c^{-1}$	Вероятности		Обеспеченности		Вероятности		Обеспеченности	
			$P_{i3}$	$P_{ia}$	$F_{i3}$	$F_{ia}$	$P_{i3}$	$P_{ia}$	$F_{i3}$	$F_{ia}$
			Зима				Весна			
Утро	Слабый	0,069	0,5930	0,6208	0,5930	0,6208	0,7011	0,6960	0,7011	0,6960
	Умерен.	0,139	0,3488	0,2960	0,9419	0,9168	0,2513	0,2522	0,9524	0,9482
	Сильный	0,209	0,0504	0,0705	0,9922	0,9873	0,0397	0,0457	0,9921	0,9939
	Оч.сильн.	>0,210	0,0078	0,0127			0,0079	0,0061		
	Объем выборки $n$		258				378			
День	Слабый	0,069	0,7613	0,7472	0,7613	0,7472	0,6869	0,6836	0,6869	0,6836
	Умерен.	0,139	0,1933	0,2177	0,9546	0,9650	0,2685	0,2600	0,9554	0,9436
	Сильный	0,209	0,0381	0,0317	0,9927	0,9967	0,0316	0,0495	0,9870	0,9931
	Оч.сильн.	>0,210	0,0073	0,0033			0,0130	0,0069		
	Объем выборки $n$		683				1233			
Вечер	Слабый	0,069	0,7833	0,7596	0,7833	0,7596	0,6978	0,6799	0,6978	0,6799
	Умерен.	0,139	0,1667	0,2089	0,9500	0,9685	0,2432	0,2623	0,9410	0,9422
	Сильный	0,209	0,0444	0,0287	0,9944	0,9972	0,0467	0,0506	0,9877	0,9928
	Оч.сильн.	>0,210	0,0056	0,0028			0,0123	0,0072		
	Объем выборки $n$		360				407			
Ночь	Слабый	0,069	0,7381	0,7437	0,7381	0,7437	0,6680	0,6811	0,6680	0,6811
	Умерен.	0,139	0,2336	0,2202	0,9717	0,9639	0,2867	0,2616	0,9547	0,9427
	Сильный	0,209	0,0223	0,0326	0,9940	0,9965	0,0398	0,0502	0,9945	0,9929
	Оч.сильн.	>0,210	0,0060	0,0035			0,0055	0,0071		
	Объем выборки $n$		672				729			
			Лето				Осень			
Утро	Слабый	0,069	0,6291	0,6417	0,6291	0,6417	0,6303	0,6319	0,6303	0,6319
	Умерен.	0,139	0,3046	0,2847	0,9338	0,9264	0,3002	0,2901	0,9305	0,9219
	Сильный	0,209	0,0596	0,0632	0,9934	0,9895	0,0571	0,0666	0,9876	0,9885
	Оч.сильн.	>0,210	0,0066	0,0105			0,0124	0,0115		
	Объем выборки $n$		453				403			
День	Слабый	0,069	0,6135	0,6214	0,6135	0,6214	0,7276	0,7081	0,7276	0,7081
	Умерен.	0,139	0,3194	0,2957	0,9330	0,9170	0,2248	0,2444	0,9524	0,9525
	Сильный	0,209	0,0519	0,0703	0,9849	0,9874	0,0326	0,0422	0,9851	0,9947
	Оч.сильн.	>0,210	0,0151	0,0126			0,0149	0,0053		
	Объем выборки $n$		1656				1072			
Вечер	Слабый	0,069	0,6210	0,6107	0,6210	0,6107	0,6882	0,6962	0,6882	0,6962
	Умерен.	0,139	0,3037	0,3012	0,9247	0,9119	0,2638	0,2521	0,9520	0,9483
	Сильный	0,209	0,0479	0,0743	0,9726	0,9861	0,0456	0,0456	0,9976	0,9940
	Оч.сильн.	>0,210	0,0274	0,0139			0,0024	0,0060		
	Объем выборки $n$		438				417			
Ночь	Слабый	0,069	0,5814	0,5935	0,5814	0,5935	0,6911	0,6900	0,6911	0,6900
	Умерен.	0,139	0,3304	0,3096	0,9118	0,9031	0,2571	0,2560	0,9482	0,9460
	Сильный	0,209	0,0745	0,0808	0,9863	0,9839	0,0431	0,0475	0,9914	0,9935
	Оч.сильн.	>0,210	0,0137	0,0161			0,0086	0,0065		
	Объем выборки $n$		805				1159			

Статистические характеристики ВСВ в зимний период года  
на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Слой, м	Статистики						
	$n$	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	$C(\beta)$	$A(\beta)$	$E(\beta)$	$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	$B_m, \text{с}^{-1}$
Утро							
10–40 (25)	258	0,069	0,68	1,52	4,74	0,228	0,337
40–100 (70)	259	0,030	0,85	1,87	5,37	0,128	0,173
100–200 (150)	257	0,020	0,72	1,41	2,77	0,064	0,080
200–300 (250)	255	0,019	0,71	1,38	2,73	0,059	0,078
300–400 (350)	249	0,017	0,70	0,93	0,78	0,047	0,053
400–500 (450)	242	0,014	0,87	3,78	27,67	0,061	0,120
500–600 (550)	241	0,012	1,08	2,60	10,34	0,064	0,095
600–700 (650)	131	0,010	1,02	2,76	12,42	0,036	0,076
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–
День							
10–40 (25)	683	0,052	0,79	1,72	4,33	0,209	0,271
40–100 (70)	683	0,022	0,84	1,92	6,45	0,112	0,154
100–200 (150)	679	0,017	0,81	1,53	3,66	0,073	0,090
200–300 (250)	673	0,017	0,82	1,86	5,15	0,079	0,102
300–400 (350)	669	0,016	0,80	1,62	3,84	0,071	0,091
400–500 (450)	652	0,014	0,85	2,05	7,37	0,068	0,100
500–600 (550)	645	0,012	1,04	3,15	17,53	0,093	0,105
600–700 (650)	382	0,011	0,91	2,11	8,10	0,055	0,080
700–900 (800)	2	0,012	–	–	–	0,016	0,016
Вечер							
10–40 (25)	360	0,052	0,82	2,01	5,80	0,227	0,299
40–100 (70)	362	0,021	0,77	1,51	3,41	0,080	0,100
100–200 (150)	361	0,016	0,72	1,15	1,57	0,055	0,064
200–300 (250)	355	0,015	0,73	1,14	1,06	0,049	0,054
300–400 (350)	347	0,015	0,75	2,17	9,85	0,062	0,099
400–500 (450)	340	0,013	0,75	1,43	3,25	0,049	0,060
500–600 (550)	336	0,011	0,90	2,00	7,96	0,050	0,080
600–700 (650)	205	0,011	0,90	1,59	3,12	0,038	0,051
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–
Ночь							
10–40 (25)	672	0,053	0,71	1,45	3,18	0,200	0,246
40–100 (70)	672	0,023	0,79	1,39	2,49	0,092	0,107
100–200 (150)	682	0,015	0,74	1,45	4,05	0,062	0,091
200–300 (250)	671	0,016	0,86	1,97	5,63	0,074	0,086
300–400 (350)	654	0,015	1,00	3,39	20,55	0,102	0,157
400–500 (450)	626	0,013	0,95	2,63	11,23	0,075	0,106
500–600 (550)	625	0,010	1,00	2,27	7,93	0,062	0,075
600–700 (650)	230	0,009	0,98	1,59	2,96	0,035	0,050
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–

Статистические характеристики ВСВ в весенний период года  
на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Слой, м	Статистики						
	$n$	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	$C(\beta)$	$A(\beta)$	$E(\beta)$	$\bar{\beta}_m, \text{с}^{-1}$	$B_m, \text{с}^{-1}$
Утро							
10–40 (25)	378	0,059	0,74	1,93	7,38	0,243	0,359
40–100 (70)	380	0,024	0,73	1,74	6,49	0,095	0,129
100–200 (150)	380	0,017	0,76	1,77	5,17	0,068	0,090
200–300 (250)	377	0,016	0,74	1,66	5,03	0,063	0,090
300–400 (350)	374	0,016	0,73	2,12	8,60	0,063	0,099
400–500 (450)	364	0,014	0,83	2,02	7,77	0,059	0,091
500–600 (550)	362	0,011	0,95	1,85	4,58	0,055	0,061
600–700 (650)	192	0,011	0,85	1,47	3,29	0,039	0,057
700–900 (800)	2	0,005	–	–	–	0,010	0,010
День							
10–40 (25)	1233	0,059	0,80	3,97	40,76	0,384	0,750
40–100 (70)	1242	0,018	1,00	5,93	69,86	0,168	0,279
100–200 (150)	1243	0,013	0,92	3,00	18,44	0,090	0,144
200–300 (250)	1234	0,013	0,93	3,67	26,04	0,099	0,147
300–400 (350)	1219	0,013	0,82	1,86	6,25	0,070	0,100
400–500 (450)	1190	0,012	0,86	2,12	8,42	0,073	0,094
500–600 (550)	1183	0,010	0,93	1,94	6,15	0,057	0,068
600–700 (650)	677	0,010	0,88	2,30	13,61	0,055	0,093
700–900 (800)	4	0,001	–	–	–	0,003	0,005
Вечер							
10–40 (25)	407	0,060	0,81	2,68	13,38	0,279	0,433
40–100 (70)	410	0,021	0,82	2,14	9,76	0,093	0,157
100–200 (150)	410	0,014	0,92	2,43	9,65	0,074	0,103
200–300 (250)	408	0,015	0,81	1,93	7,25	0,066	0,091
300–400 (350)	401	0,014	0,78	1,49	3,30	0,056	0,070
400–500 (450)	392	0,014	0,89	2,24	8,88	0,068	0,097
500–600 (550)	387	0,011	0,92	2,14	8,28	0,056	0,080
600–700 (650)	219	0,011	1,11	4,84	35,38	0,062	0,110
700–900 (800)	4	0,008	–	–	–	0,022	0,022
Ночь							
10–40 (25)	729	0,060	0,68	1,21	2,33	0,232	0,290
40–100 (70)	730	0,027	0,80	2,69	16,85	0,133	0,248
100–200 (150)	729	0,016	0,69	1,74	6,09	0,070	0,098
200–300 (250)	725	0,015	0,75	1,95	8,83	0,065	0,110
300–400 (350)	719	0,014	0,84	1,67	3,28	0,062	0,065
400–500 (450)	715	0,013	0,96	3,64	30,11	0,087	0,161
500–600 (550)	712	0,012	0,95	2,38	9,44	0,058	0,090
600–700 (650)	289	0,011	0,94	1,86	4,56	0,034	0,056
700–900 (800)	4	0,004	–	–	–	0,008	0,012



Статистические характеристики ВСВ в летний период года  
на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Слой, м	Статистики						
	$n$	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	$C(\beta)$	$A(\beta)$	$E(\beta)$	$\bar{\beta}_M, \text{с}^{-1}$	$B_M, \text{с}^{-1}$
Утро							
10–40 (25)	453	0,066	0,66	1,11	1,59	0,203	0,258
40–100 (70)	454	0,031	0,72	1,56	4,14	0,121	0,150
100–200 (150)	453	0,019	0,79	2,56	13,14	0,092	0,130
200–300 (250)	453	0,019	0,75	2,17	8,52	0,081	0,101
300–400 (350)	453	0,018	0,82	2,33	10,09	0,077	0,129
400–500 (450)	453	0,014	0,80	2,31	10,08	0,073	0,095
500–600 (550)	453	0,011	0,91	1,93	6,07	0,054	0,075
600–700 (650)	255	0,012	0,83	1,87	5,28	0,048	0,058
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–
День							
10–40 (25)	1656	0,067	0,70	1,92	7,79	0,376	0,429
40–100 (70)	1660	0,019	0,79	1,81	6,45	0,106	0,149
100–200 (150)	1660	0,015	0,83	2,29	10,36	0,085	0,137
200–300 (250)	1658	0,014	0,85	2,35	13,44	0,086	0,150
300–400 (350)	1657	0,014	0,85	2,64	16,24	0,101	0,155
400–500 (450)	1653	0,012	0,87	2,17	9,10	0,077	0,092
500–600 (550)	1652	0,011	0,94	2,24	9,77	0,074	0,095
600–700 (650)	952	0,011	0,89	2,56	14,80	0,065	0,105
700–900 (800)	1	0,006	–	–	–	0,006	0,006
Вечер							
10–40 (25)	438	0,070	0,76	2,11	6,41	0,311	0,339
40–100 (70)	440	0,027	0,73	1,29	3,14	0,102	0,137
100–200 (150)	440	0,017	0,87	2,33	10,17	0,075	0,132
200–300 (250)	440	0,015	0,93	3,19	17,56	0,088	0,127
300–400 (350)	440	0,015	0,86	2,51	11,91	0,068	0,117
400–500 (450)	440	0,012	0,80	1,58	4,16	0,044	0,064
500–600 (550)	438	0,010	0,85	1,83	6,56	0,045	0,070
600–700 (650)	265	0,012	0,77	1,56	4,68	0,042	0,062
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–
Ночь							
10–40 (25)	805	0,071	0,65	1,16	1,60	0,246	0,290
40–100 (70)	804	0,033	0,76	3,03	25,44	0,174	0,329
100–200 (150)	803	0,020	0,80	2,45	11,47	0,108	0,157
200–300 (250)	802	0,018	0,79	2,87	15,96	0,104	0,136
300–400 (350)	801	0,017	0,86	3,82	32,36	0,101	0,194
400–500 (450)	800	0,016	0,98	4,32	41,15	0,108	0,223
500–600 (550)	798	0,012	1,04	3,81	24,44	0,087	0,141
600–700 (650)	337	0,010	0,90	2,58	13,14	0,045	0,080
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–

Статистические характеристики ВСВ в *осенний* период года  
на различных высотах над ВПП аэропорта «Манас»

Слой, м	Статистики						
	$n$	$\bar{\beta}, \text{с}^{-1}$	$C(\beta)$	$A(\beta)$	$E(\beta)$	$\bar{\beta}_M, \text{с}^{-1}$	$B_M, \text{с}^{-1}$
Утро							
10–40 (25)	403	0,066	0,75	2,21	10,40	0,281	0,453
40–100 (70)	404	0,026	0,76	1,56	4,65	0,096	0,150
100–200 (150)	402	0,018	0,96	4,55	42,33	0,103	0,211
200–300 (250)	399	0,018	0,85	2,24	8,23	0,087	0,119
300–400 (350)	396	0,016	1,04	6,55	76,65	0,099	0,232
400–500 (450)	391	0,014	0,89	2,60	14,36	0,067	0,117
500–600 (550)	389	0,011	0,97	1,86	4,74	0,053	0,066
600–700 (650)	213	0,011	0,98	1,95	4,32	0,044	0,059
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–
День							
10–40 (25)	1072	0,057	0,86	2,73	14,07	0,366	0,473
40–100 (70)	1079	0,017	0,93	2,17	7,34	0,094	0,127
100–200 (150)	1081	0,012	1,00	2,96	14,83	0,092	0,127
200–300 (250)	1074	0,013	0,84	2,12	10,05	0,071	0,112
300–400 (350)	1070	0,013	0,84	1,43	2,53	0,056	0,061
400–500 (450)	1051	0,012	0,85	1,67	4,21	0,060	0,067
500–600 (550)	1043	0,010	1,12	5,01	57,82	0,085	0,176
600–700 (650)	578	0,011	0,98	4,15	33,69	0,059	0,121
700–900 (800)	1	0,022	–	–	–	0,022	0,022
Вечер							
10–40 (25)	417	0,060	0,68	1,20	1,56	0,180	0,230
40–100 (70)	418	0,021	0,84	1,78	4,45	0,084	0,106
100–200 (150)	417	0,014	0,80	1,60	3,10	0,058	0,060
200–300 (250)	412	0,013	0,82	1,39	2,67	0,051	0,068
300–400 (350)	409	0,013	0,85	3,75	31,71	0,062	0,129
400–500 (450)	404	0,012	0,83	2,87	21,15	0,054	0,105
500–600 (550)	401	0,011	1,10	5,25	53,16	0,068	0,149
600–700 (650)	203	0,010	0,83	2,05	9,60	0,040	0,069
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–
Ночь							
10–40 (25)	1159	0,060	0,73	1,51	3,68	0,247	0,310
40–100 (70)	1161	0,026	0,88	2,99	18,67	0,175	0,275
100–200 (150)	1158	0,016	0,81	2,33	10,00	0,092	0,130
200–300 (250)	1150	0,016	0,83	2,30	10,56	0,089	0,130
300–400 (350)	1140	0,015	0,96	3,27	18,43	0,094	0,135
400–500 (450)	1125	0,013	1,00	2,91	13,63	0,093	0,120
500–600 (550)	1116	0,011	1,15	3,45	17,85	0,101	0,119
600–700 (650)	465	0,010	1,09	2,71	11,03	0,053	0,088
700–900 (800)	0	–	–	–	–	–	–

И.С. Брусенская, О.А. Подрезов

РЕЖИМ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО,  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА

Редактор И.В. Верченко  
Компьютерная верстка М.Р. Фазлыевой

Подписано в печать 30.11.10.  
Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ . Офсетная печать.  
Объем 18 п.л. Заказ 66.  
Тираж 100 экз.

Издательство Кыргызско-Российского  
Славянского университета  
720000, Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ  
720048, Бишкек, ул. Горького, 2