

УДК 551.554 (575.2) (04)

**АЭРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ВЕТРА  
В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ  
В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА “МАНАС”**

*И.С. Брусенская* – соискатель

---

In the article vertical profile of wind velocity and frequency of wind directions in boundary layer of the atmosphere up to 900 m are studied. This research is made using pilot-balloon data for different seasons, day- and night-time.

Для метеорологического обеспечения безопасности полетов авиации, особенно при взлетах и посадках воздушных судов, большое значение имеет знание вертикального профиля вектора ветра над взлетно-посадочной полосой (ВПП) в пределах пограничного слоя атмосферы (ПСГ) до высот около 1 км.

Аэропорт “Манас” находится в центральной части Чуйской долины и имеет свои специфические ветровые условия. Аэрологическая станция Бишкек расположена в 30 км южнее и примерно на расстоянии 15–18 км от подножья высокого Киргизского Ала-Тоо (средняя высота гребневой линии – 3,8 км). Поэтому ее данные могут быть недостаточно показательны для аэроклиматической характеристики режима ветра в районе аэропорта “Манас” [1–3]. Точно также требуют прямого подтверждения выводы о режиме ветра, полученные по данным метеостанций Чуйской долины [1, 4–12]. Вопросы о вертикальных сдвигах ветра в Манасе изложены в работе [12].

Целью настоящей работы было исследование основных аэроклиматических характеристик режима ветра над ВПП Манас до 900 м, включающее решение следующих задач для четырех сезонов года и различного времени суток (утро, день, вечер, ночь):

1) оценка средних скоростей ветра и повторяемости направлений у земной поверхности;

2) оценка вертикального профиля средней скорости ветра до 900 м;

3) изменение повторяемости направлений ветра с высотой до 900 м.

Для этой цели впервые, как и в [12], были использованы шаропилотные измерения ветра в аэропорту “Манас” за пять лет (1984, 1987, 1988, 1990 и 1991 гг.), – когда их выпуски проводились ежедневно без перерывов 3–8 раз в сутки. Всего было использовано 11187 выпусков шаропилотов до высот 900 м. Первичная систематизация материала включала дифференциацию ветровых зондирований по сезонам года и времени суток. Полученные выборки скоростей и направлений ветра для стандартных высот – 10, 30, 40, 100, 200, ..., 900 м подвергались статистической обработке по специальной схеме с использованием программы Excel. При этом измерения на двух первых высотах – 10 м (метеомачта) и 30 м (диспетчерская вышка) – соответствовали анемометрическим, а на более высоких уровнях – шаропилотным данным. Рассчитывались повторяемости направлений ветра по 8 румбам и основные статистики для модуля скорости [13]: среднее значение –  $\bar{V}$ , среднее квадратическое отклонение (СКО) –  $\sigma(V)$ , коэффициенты вариации –  $C(V)$ , асимметрии –  $A(V)$  и эксцесса –  $E(V)$ .

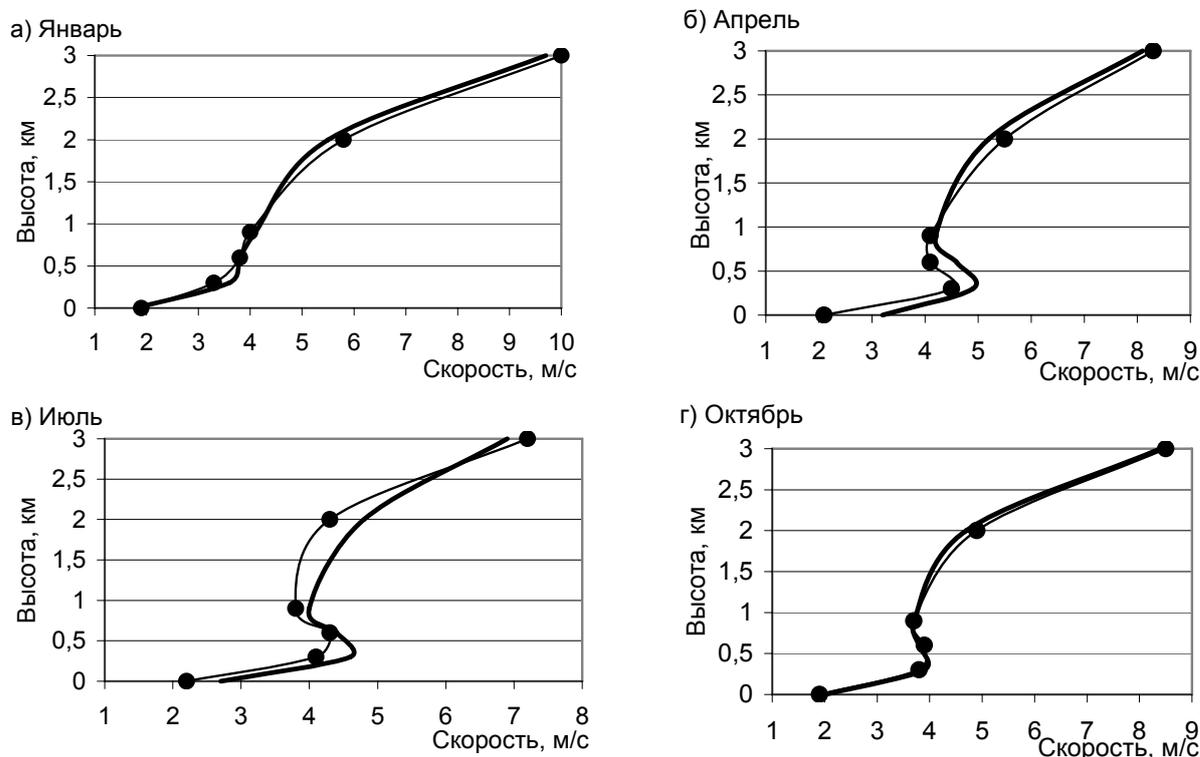


Рис. 1. Распределение средней скорости ветра [2] по высоте в различные месяцы года на АС Бишкек (—●—Срок 06 ч —Срок 18 ч).

Большой объем выборки  $n$ , составляющий от 2001 до 3362 для различных сезонов и 259–1662 для различного времени суток, обеспечил высокую практическую надежность статистических расчетов и результатов исследований. Для сравнительного анализа привлечены имеющиеся публикации и климатические справочники [1, 2, 9–12].

Рельефно-орографические условия Чуйской долины обуславливают следующую специфику ее местных ветровых условий: 1) хорошо развитую горно-долинную циркуляцию, параметры и зоны распространения которой приведены в [5, 8, 10]; 2) малые среднегодовые и средние месячные приземные скорости ветра (1–3 м/с); 3) большую повторяемость затиший (до 25–30%) [1, 4, 6–10]. Так, здесь наблюдается сглаженный годовой ход скорости ветра, с небольшим ее увеличением в весенне-летний период года до 3 м/с и уменьшением зимой до 1–2 м/с. В суточном ходе ночью, при развитии горного ветра скорости малы (составляют

примерно 1–2 м/с), а дневные, за счет развития турбулентности, примерно на 0,5–1,5 м/с выше, т.е. 2–3,5 м/с [1, 4, 6].

Причиной малых скоростей ветра в предгорьях является тормозящее влияние горных систем Тянь-Шаня и Памиро-Алая на поле ветра нижней тропосферы. На существенное торможение потоков в нижних слоях толщиной до 3 км и в предгорной зоне указал еще Н.Ф. Гельмгольц [8]. Он по данным шарпилотных наблюдений 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, получены также в работах [4, 11].

Из рис. 1, построенного по данным аэрологической станции (АС) Бишкек, видно, что во все сезоны года для дня и ночи вид профи-

лей 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 м/с на высотах 300 м; 2) в слое 300–900 м профиль ветра имеет сложный характер с ее малым изменением с высотой с образованием локальных максимумов и минимумов на его границах; 3) выше 900 м до 2000 м скорости ветра сначала относительно медленно растут с высотой до 4,5–6 м/с; 4) затем в слое 2000–3000 м их рост ускоряется, так что на высоте 3 км над станцией (3,76 км над ур. м.) они достигают 8–10 м/с, которые соответствуют скоростям ветра свободной атмосферы.

Режим направлений ветра в ПГС Чуйской долины по данным АС Бишкек имеет не менее сложный характер. Он складывается из направлений, создаваемых общей циркуляцией атмосферы (ОЦА – западные, восточные и близкие к ним румбы), горно-долинной циркуляции вдоль оси долины (ГДЦ – западные румбы днем и восточные – ночью) и склоновой горно-долинной циркуляции между северным склоном Киргизского Ала-Тоо и днищем долины (СГДЦ – северные румбы днем и южные ночью). Все это хорошо видно на рис. 2,

где приведены розы направлений ветра на АС Бишкек для двух периодов года (зимний и летний) и времени суток (день и ночь) на высотах 10, 240, 600 и 900 м.

Как уже отмечалось, возможно, что по отдельным характеристикам приведенные результаты недостаточно хорошо соответствуют району аэропорта “Манас”, находящемуся на оси Чуйской долины в 30 км южнее АС Бишкек, расположенной относительно близко к подножью хребта.

**1. Средние скорости и направления ветра у земной поверхности (а/п “Манас”).**

В табл. 1 приведены основные статистические характеристики модуля скорости ветра в районе ВПП аэропорта “Манас”: среднее значение –  $\bar{V}$ , коэффициенты вариации –  $C(V)$ , асимметрии –  $A(V)$  и эксцесса –  $E(V)$  для сезонов года и различного времени суток.

Видно, что в районе совершенно открытой территории ВПП средняя скорость ветра соответствует верхней границе диапазона скоростей по станциям Чуйской долины, т.е. 2,5–3,5 м/с. В годовом ходе также наблюдается небольшое ее увеличение в весенне-летний период года до 3–3,5 м/с и уменьшение зимой до 2,5 м/с. Суточный ход скорости ветра выражен

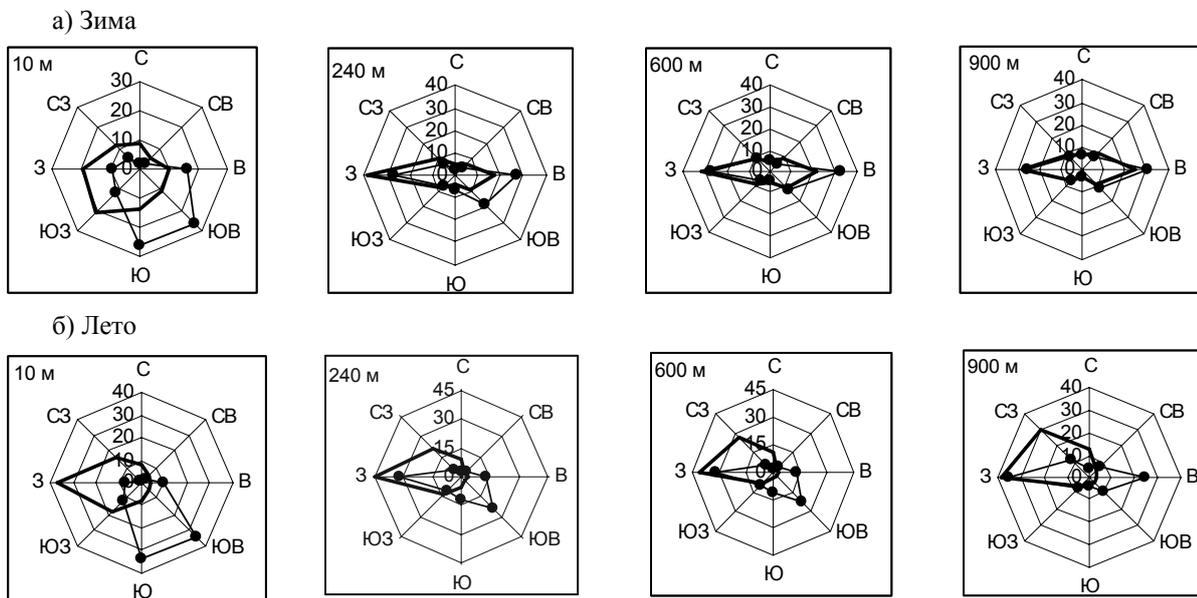


Рис. 2. Розы направлений ветра в зимний – а) и летний – б) периоды года в дневные и ночные часы суток на АС Бишкек на высотах 10, 240, 600 и 900 м (— День – - - - Ночь).

Статистические характеристики средней скорости ветра у земной поверхности в районе ВПП аэропорта “Манас”

Время суток	Статистики				Время суток	Статистики			
	$\bar{V}$ , м/с	$C(V)$ , м/с	$A(V)$	$E(V)$		$\bar{V}$ , м/с	$C(V)$ , м/с	$A(V)$	$E(V)$
Зима (штиль 12%)					Лето (штиль 4%)				
Утро	2,7	0,75	1,12	1,83	Утро	2,9	0,58	0,80	1,21
День	2,6	0,74	0,99	1,07	День	3,4	0,62	0,86	0,86
Вечер	2,5	0,70	1,07	1,69	Вечер	3,5	0,54	1,06	1,69
Ночь	2,4	0,73	1,00	1,34	Ночь	3,4	0,52	0,90	1,66
Сутки	2,5	0,73	1,05	1,48	Сутки	3,3	0,565	0,905	1,355
Весна (штиль 7%)					Осень (штиль 10%)				
Утро	2,6	0,69	0,98	1,65	Утро	2,3	0,69	1,26	2,62
День	3,2	0,67	1,18	2,12	День	2,7	0,71	1,34	3,58
Вечер	3,4	0,58	0,81	0,76	Вечер	2,7	0,63	1,04	2,36
Ночь	2,7	0,61	0,93	2,20	Ночь	2,6	0,68	1,16	2,23
Сутки	3,0	0,64	0,98	1,68	Сутки	2,6	0,68	1,20	2,70

слабо, колеблется в пределах  $\pm 0,8$  м/с. При этом минимальные скорости ветра приходятся на утро, а максимальные – на день или вечер. Исключением является зима, где наблюдается противоположное распределение: максимум – утром и минимум – ночью.

Повторяемость штилей в районе ВПП аэропорта “Манас” заметно ниже, чем в Чуйской долине (25–30%), и составляет всего 4–12%. Все это объясняется как большой открытостью территории, так и относительно высокой чувствительностью анеморумбометров, по которым велись наблюдения в Манасе.

Статистическое распределение модуля скорости (табл. 1) здесь во все сезоны года и время суток сильно правоасимметрично ( $A(V) > 0,8-1,3$ ), островершинно ( $E(V) > 0,8-2,7$ ) 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  $\bar{V}$ .

Переходя к режиму направлений ветра, заметим, что при использовании 8-румбовой шкалы при гипотетически равном распределе-

нии направлений повторяемость каждого румба была бы 12,5%. Следовательно, условно можно считать, что если она превышает 12,5% по каким либо румбам, то эти румбы являются преобладающими по направлению, т.е. имеющие повторяемость выше средней.

В режиме направлений ветра в районе ВПП аэропорта “Манас”, как и на других станциях Чуйской долины, можно выделить две группы преобладающих направлений ветра (рис. 3): 1 группа – В и ЮВ румбы, повторяемость которых в сумме составляет около 50%; 2 группа – З и СЗ румбы с суммарной повторяемостью около 35%. Повторяемость остальных румбов ниже средней и в сумме не превышает 15–20%. Две группы преобладающих направлений обуславливаются развитием ГДЦ (З и СЗ румбы днем, В и ЮВ румбы ночью) и ветрами ОЦА. В отличие от АС Бишкек здесь не наблюдается СГДЦ, поэтому низка повторяемость южных и северных направлений ветра.

**2. Средние скорости и направления ветра на различных высотах (а/п “Манас”).** Рассмотрим теперь высотное распределение модуля скорости ветра в различные сезоны года и время суток, представленное на рис. 4 и в табл. 2. Наглядно видно, что, как и для района АС Бишкек (рис. 1), до высоты 700–900 м можно выделить 2 слоя с различным характером изменения скорости ветра: 1) слой от земной поверхности до 200 м, здесь происходит

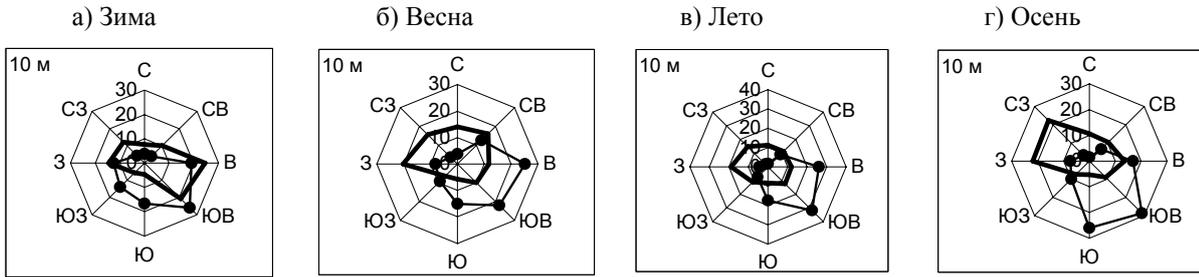


Рис. 3. Розы направлений ветра в различные периоды года в дневные и ночные часы суток в районе ВПП аэропорта “Манас” на высоте 10 м – земная поверхность (— День —• Ночь).

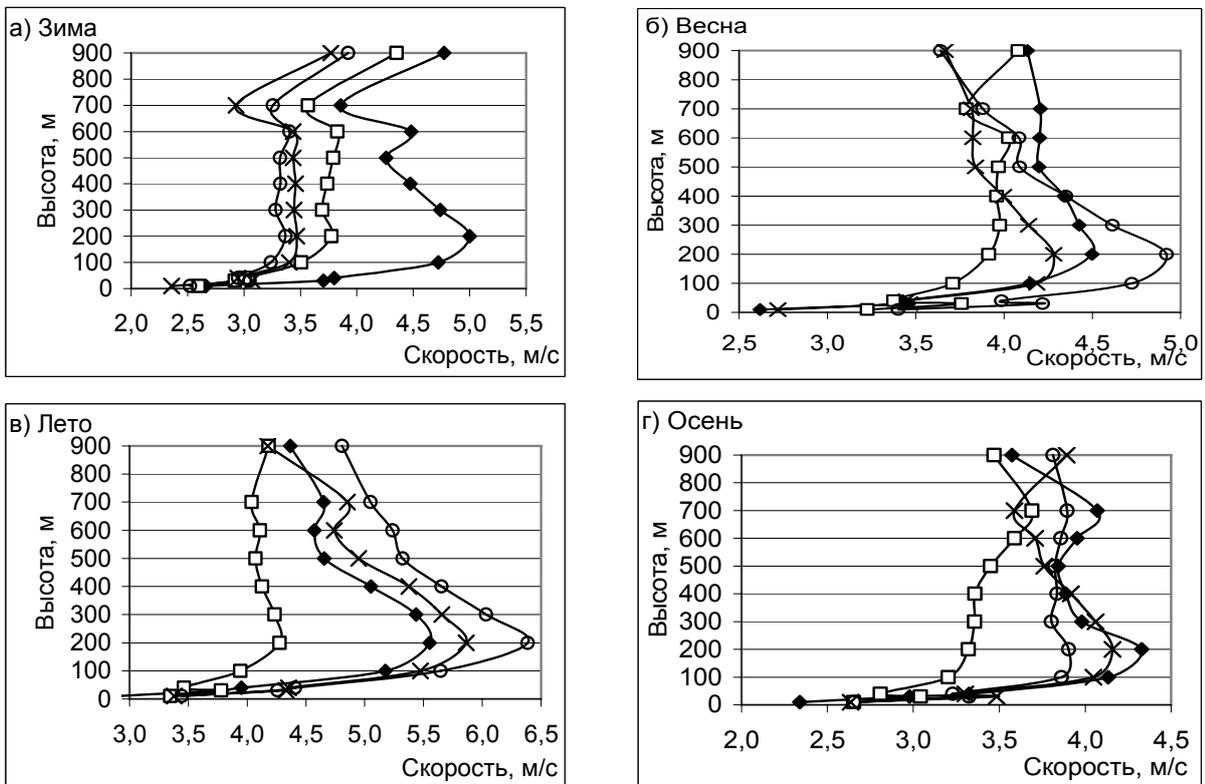


Рис. 4. Высотные профили средней скорости ветра в различные сезоны года и время суток в районе ВПП аэропорта “Манас” (—♦ Утро —□ День —○ Вечер —× Ночь).

резкий рост скорости до 200 м с максимумом на его верхней границе; 2) слой 200 м – 700 (900) м, где профиль ветра имеет сложный характер, но в целом мало изменяется с высотой. При этом переход к ОЦА, с ее увеличением скорости ветра в ПГС с высотой (на высотах ниже 900 м) наблюдается только зимой с  $Z=700$  м. В первом слое 10–200 м отмечен рост скорости с высотой.

*Зимой* наиболее сильный рост зафиксирован утром, от 2,7 м/с на высоте 10 м до 5,0 м/с на  $Z=200$  м. В остальное время суток скорости растут более слабо, от 2,4–2,6 м/с до 3,4–3,8 м/с.

*Весной* наиболее сильный рост скорости наблюдается вечером, от 3,5 до 4,9 м/с. Однако в остальное время суток скорости увеличиваются к 200 м до 3,9–4,5 м/с.

Средние скорости ветра на разных высотах в различные сезоны года и время суток в районе ВПП аэропорта “Манас”

Время суток	Высота, м				Время суток	Высота, м			
	100	200	500	900		100	200	500	900
Зима					Весна				
Утро	4,7	5,0	4,3	4,8	Утро	4,2	4,5	4,2	4,1
День	3,5	3,8	3,8	4,4	День	3,7	3,9	4,0	4,1
Вечер	3,2	3,4	3,3	3,9	Вечер	4,7	4,9	4,1	3,6
Ночь	3,4	3,5	3,4	3,8	Ночь	4,2	4,3	3,8	3,7
Сутки	3,7	3,9	3,7	4,2	Сутки	4,2	4,4	4,0	3,9
Лето					Осень				
Утро	5,2	5,6	4,7	4,4	Утро	4,1	4,3	3,8	3,6
День	3,9	4,3	4,1	4,2	День	3,2	3,3	3,5	3,5
Вечер	5,6	6,4	5,3	4,8	Вечер	3,9	3,9	3,8	3,8
Ночь	5,5	5,9	4,9	4,2	Ночь	4,1	4,2	3,8	3,9
Сутки	5,1	5,5	4,7	4,4	Сутки	3,8	3,9	3,7	3,7

Летом утром, вечером и ночью скорости от 10 к 200 м растут наиболее сильно из всех рассматриваемых сезонов – более чем на 3 м/с, от 2,9–3,5 м/с до 5,6–6,4 м/с. Только днем этот рост мал, от 3,4 м/с до 4,3 м/с.

Осенью наблюдается увеличение скоростей утром, вечером и ночью – от 2,6–2,7 м/с до 3,9–4,9 м/с, а днем так же как и летом, рост скорости мал (от 2,7 м/с до 3,3 м/с).

Во втором слое, от 200 м до 700 (900) м скорости ветра либо слабо меняются с высотой, имея относительно простой или сложный профиль, либо заметно убывают к высоте 700 (900) м с четко выраженным максимумом на нижней границе (200 м). Существенное убывание скоростей наблюдается зимой – утром, весной – вечером, летом – ночью и осенью – утром.

Несомненно, 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 200–700 (900) м, сложный характер высотного профиля модуля скорости объясняется частым развитием местной горно-долинной циркуляции в сочетании с суточным ходом коэффициента турбулентности и характером обмена количеством движения внутри этого слоя. Известно [8, 10], что максимум скоростей при ГДЦ лежит на высоте  $z = 0,25 \cdot H$ , где  $H$  – высота верхней границы нижнего течения, которая по [10] колеблется в пределах 0,86–1,50 км. Положение максимума

может сильно меняться в зависимости от сезона и конкретной погодной ситуации, что и приводит к различным типичным картинам высотного профиля (рис. 4).

Выше 700 (900) м, как следует из данных АС Бишкек и шаропилотных наблюдений в Манасе, происходит переход к ветрам ОЦА с закономерным ростом скорости с высотой. Причем зимой этот переход над ВПП Манас начинается с 700 м, а в остальные сезоны выше 900 м.

Статистический характер распределений модуля скорости на всех высотах в ПГС качественно такой же, как и у земной поверхности: распределения сильно правоасимметричны ( $A(V) > 0,4–4,9$ ), островершинны ( $E(V)$  до 12,5) и имеют большую вариацию ( $C(V) = 0,4–0,9$ ).

Изменение направления ветра с высотой над ВПП Манас можно наглядно видеть на рис. 3 и 5, где приведены розы направлений ветра на высотах 10, 100, 200, 500 и 900 м. Несмотря на разнообразие геометрии рисунков роз направлений ветра, четко прослеживается одна основная закономерность. На всех высотах и во все время суток над ВПП преобладают две группы направлений ветра: 1 группа – ветры 3 и смежного с ним румбов (СЗ и ЮЗ); 2 группа – ветры восточного и смежного с ним румбов (СВ и ЮВ). Первая группа направлений вызывается ветрами ОЦА и дневной долинной составляющей ГДЦ. Вторая группа – ветрами ОЦА (при типах синоптических про-

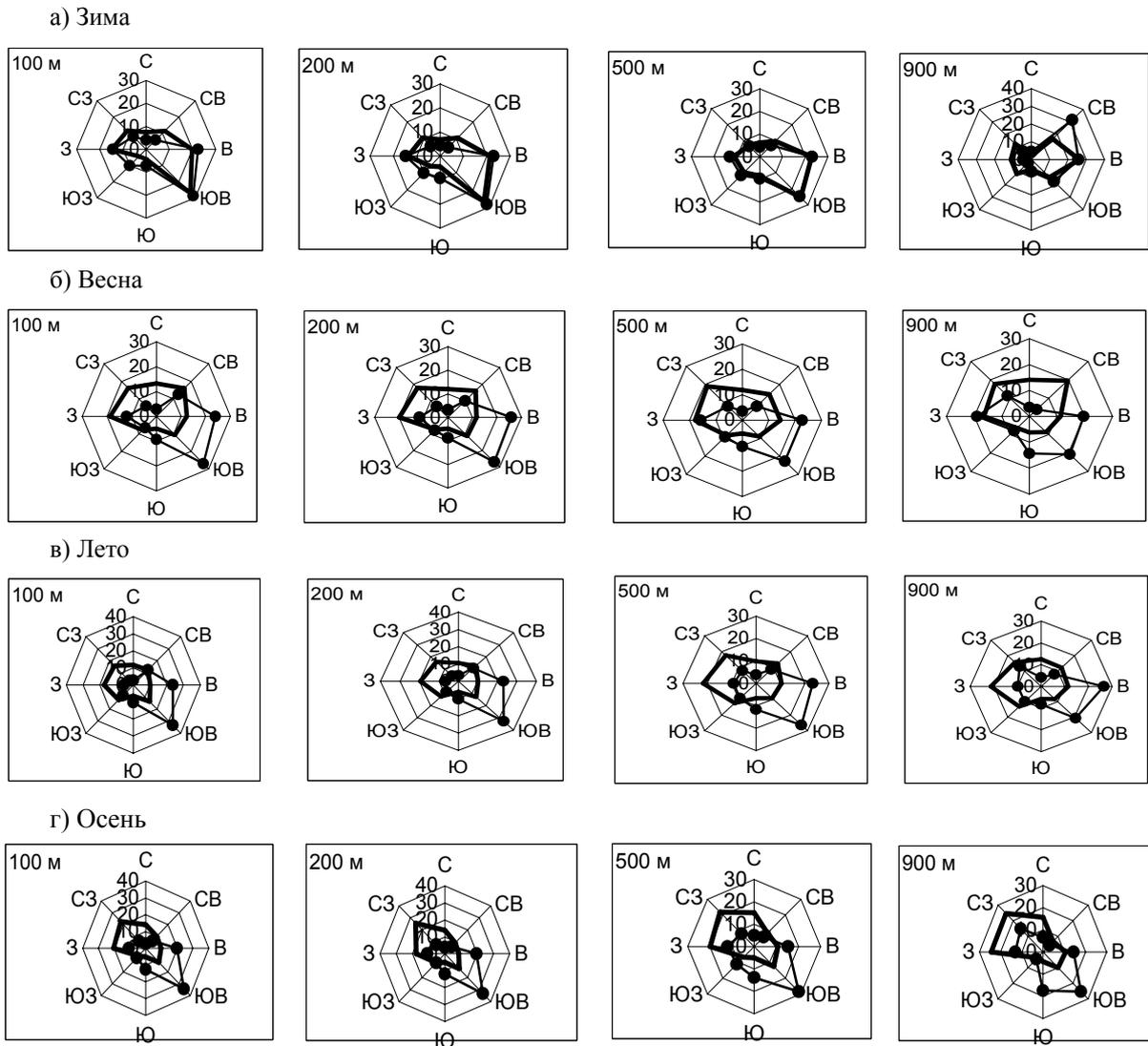


Рис. 5. Розы направлений ветра в различные сезоны года для дня и ночи на высотах 100, 200, 500 и 900 м в районе ВПП аэропорта “Манас” (— День - - - Ночь).

цессов, приводящих к восточным ветрам в ПГС [10]) и ночной горной составляющей ГДЦ. При этом равенство или некоторое преобладание группы 2 прослеживается на всех высотах вплоть до 900 м во все сезоны и время суток.

Приведенные в настоящей работе количественные данные и закономерности аэроклиматического режима ветра над Чуйской долиной и особенно над ВПП а/п “Манас” рекомендуются к непосредственному использованию при метеорологическом обслуживании авиации.

#### Литература

1. Атлас Киргизской ССР. – Т. 1. Природные условия и ресурсы. – М.: ГУГК СССР, 1987. – 157 с.
2. Аэроклиматические характеристики пограничного слоя атмосферы Средней Азии. – Кн. 1. Статистические характеристики метеорологических элементов в различные часы суток. – Ташкент, 1986. – 318 с.
3. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: Изд-во гос. гидрометеоролог. ун-та. – 2005. – 328 с.

4. 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.
5. Брусенская И.С. Повторяемость горно-долинной циркуляции в Северном, Северо-Западном Кыргызстане по приземным ветровым данным // Погода и климат Кыргызстана. – Вып. 3. – 2006. – С. 25–34.
6. Брусенская И.С. Режим средних скоростей ветра в днищах Чуйской, Таласской и Чон-Кеминской долин // Погода и климат Кыргызстана. – Вып. 2. – 2005. – С. 15–29.
7. Брусенская И.С. Режим средних скоростей ветра в области склонов хребтов Северного Кыргызстана // Погода и климат Кыргызстана. – Вып. 2. – 2005. – С. 30–41.
8. Геймгольц Н.Ф. Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня. – Л.: Гидрометеоздат, 1963. – 330 с.
9. Климатическая характеристика аэропорта “Манас”. ГП “Кыргызаэронавигация”. – Бишкек, 2004. – 177 с.
10. 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.
11. Подрезов А.О., Павлова И.А. Опасные метеорологические явления на территории Кыргызстана. – Кн. 1. Режим сильных ветров. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2003. – 115 с.
12. Подрезов О.А., Брусенская И.С. Вертикальные сдвиги ветра в пограничном слое атмосферы в аэропорту “Манас” // Наст. сб. – С. 103–108
13. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – 459 с.