

УДК 551.555.4(575.23)  
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-4-194-207

## РЕЖИМ СРЕДНИХ СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ВЕТРА В АЭРОПОРТУ ИССЫК-КУЛЬ

*И.А. Павлова, О.А. Подрезов, А.О. Подрезов*

*Аннотация.* Проанализированы основные особенности режима средних месячных и годовых скоростей и направлений ветра в районе аэропорта Иссyk-Куль. Использoваны результаты ветровых наблюдений в аэропорту за 2017 г. с дискретностью в 0,5 ч, а также многолетние данные метеостанций Балыкчи и Курское. Установлено, что режим ветра здесь в значительной мере определяется совместным влиянием общей циркуляции атмосферы, склоновой горно-долинной циркуляцией, бризами, а также процессами, связанными с развитием боры улана и гроз. Приводятся основные численные характеристики значений средних скоростей ветра и повторяемости их направлений для центральных месяцев сезонов и года по данным измерений в аэропорту Иссyk-Куль.

*Ключевые слова:* аэропорт Иссyk-Куль; результаты наблюдений; характеристики режима средних месячных скоростей и направлений ветра.

---

## ЫСЫК-КӨЛ АЭРОПОРТУНДАГЫ ШАМАЛДЫН ОРТОЧО ЫЛДАМДЫГЫ ЖАНА БАГЫТЫ

*И.А. Павлова, О.А. Подрезов, А.О. Подрезов*

*Аннотация.* Макалада Ысык-Көл аэропортунын аймагындагы шамалдын орточо айлык жана жылдык ылдамдыгынын жана багытынын негизги өзгөчөлүктөрү талдоого алынды. 2017-жылдагы аэропорттогу шамалга 0,5 саат дискреттүүлүк менен байкоо жүргүзүүнүн жыйынтыктары, ошондой эле Балыкчы жана Курск метеостанцияларынын көп жылдык маалыматтары колдонулду. Бул жерде шамалдын режими негизинен атмосферанын жалпы циркуляциясынын, тоо боорундагы жана өрөөндөгү циркуляциянын, желдердин, ошондой эле улан менен күн күркүрөөнүн өнүгүшүнө байланыштуу процесстердин биргелешкен таасири менен аныкталары белгиленди. Ысык-Көл аэропортундагы өлчөөлөр боюнча мезгилдердин жана жылдын борбордук айлары үчүн шамалдын орточо ылдамдыгынын маанилеринин негизги сандык мүнөздөмөсү жана алардын багыттарынын кайталанышы көрсөтүлгөн.

*Түйүндүү сөздөр:* Ысык-Көл аэропорту; байкоонун натыйжалары; шамалдын орточо айлык ылдамдыгынын жана багыттарынын режиминин мүнөздөмөлөрү.

---

## REGIME OF THE AVERAGE WIND SPEEDS AND DIRECTIONS AT THE AIRPORT ISSYK-KUL

*I.A. Pavlova, O.A. Podrezov, A.O. Podrezov*

*Abstract.* There have been analyzed the main peculiarities of the regime of the average month and annual speeds and directions of the wind in the area of the airport Issyk-Kul. It have been used the results of wind observations at the airport for 2017 with discrete of 0,5 h, as well as long-term data of the meteo-stations Balykchy and Kurskoe. It has been determined that wind regime in the area is mainly defined by the combined influence of general circulation of atmosphere, slope mountain-valley circulation, breezes and the processes connected with the development of bora Ulan and thunderstorm. The main numerical features of values of the average wind speed and repetition of its directions for the central months of seasons and year according to the data of measurements at airport Issyk-Kul are cited.

*Keywords:* airport Issyk-Kul; results of the observations; regime characteristics of the average month speeds and directions of wind.

**Введение.** С 2017 г. в северо-западной части Иссык-Кульской котловины (ИКК) вступил в действие международный гражданский аэропорт (АП) Иссык-Куль, расположенный между поселками Тамчи и Чок-Тал, примерно в 30 км западнее г. Чолпон-Ата (рисунок 1). Его взлетно-посадочная полоса находится на конусе выноса р. Чок-Тал, между ее двумя расходящимися в виде треугольника руслами, которые она приобретает после выхода из одноименного ущелья, имеет высоту около 1650 м и проходит выше автомагистрали Балыкчи–Каракол, располагаясь параллельно ей и береговой черте озера (см. космический снимок на рисунке 1). Полоса ориентирована примерно вдоль подножья южного склона хр. Кунгей Ала-Тоо (курсовые углы 70 и 250°), имеет длину 3800 м, ширину 45 м. Поэтому остро встал вопрос о знании особенностей метеорологических условий в районе расположения аэропорта и, прежде всего, режима ветра, нижней облачности, видимости (туманов) и гроз. Следует отметить, что две метеостанции северного побережья ИКК – Балыкчи и Чолпон-Ата, между которыми расположен аэропорт, находятся примерно на расстоянии 80 км друг от друга. При этом вначале своей работы станция Чолпон-Ата располагалась в пос. Курское (ныне пос. Сары-Ой) в 12 км западнее ее настоящего местоположения. Приводимые в климатическом справочнике [1] ветровые данные по этой станции соответствуют наблюдениям ее в районе пос. Курское. По этой причине, для правильной привязки по данным этой станции к реальной местности, будем далее обозначать ее как Курское. Таким образом, прямые наблюдения метеостанций непосредственно в районе АП Иссык-Куль отсутствуют,

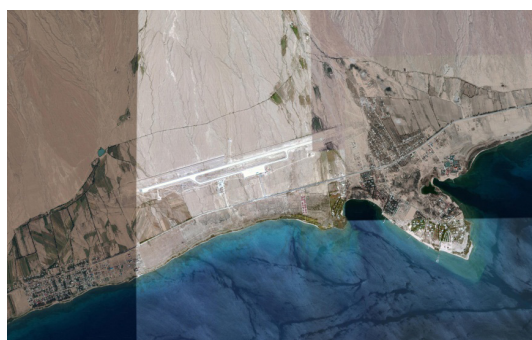


Рисунок 1 – Физико-географическая карта западной части ИКК с расположением аэропорта Иссык-Куль (вверху) и космический снимок (внизу слева) с расположения его взлетно-посадочной полосы (выделяется белым фоном)

и для описания его метеоусловий могут быть использованы лишь косвенные данные двух этих станций и собственные ветровые наблюдения в аэропорту.

Согласно имеющимся климатическим исследованиям этого района, содержащимся в списке цитируемой литературы, одним из наиболее неясных вопросов является режим ветра, учитывая многофакторность условий его формирования под влиянием различных местных циркуляций и общей циркуляции атмосферы. Вопрос о режиме ветра тем более актуален, что в крайней западной части котловины развита бора улан, характеризующаяся штормовыми западными ветрами с ядром зоны их развития в районе станции Балыкчи [2–6], которая находится примерно в 50 км к западу от аэропорта. Заметим, что станция Балыкчи поэтому отмечает одно из самых высоких значений средних годовых скоростей, равное 4,1 м/с, на территории Кыргызстана [2, 7, 8]. При этом на метеостанции Чолпон-Ата улан уже не отмечается.

Таким образом, особую ценность приобрели собственные метеорологические наблюдения в АП Иссык-Куль, которые сразу же показали, что зона распространения улана захватывает расположение аэропорта. Описание особенностей режима сильных ветров (скорости 10 м/с и выше) в районе АП по данным его наблюдений за 2017 г. и 2017–2019 гг. приводятся в работах [4, 5]. Настоящая статья посвящена исследованию режима средних месячных и годовых скоростей и направлений ветра в районе АП Иссык-Куль. Для этой цели использована выборка автоматизированных ветровых наблюдений через каждые 30 мин за первый 2017 год работы АП. По датчикам, установленным на метеомачтах высотой 10 м, определялась средняя за 2 мин скорость ветра (с точностью до 1 м/с), а также направление ветра с точностью до 10°.

Таким образом, использовано 48 наблюдений за сутки, что равно 1140 измерениям для месяца длительностью в 30 дней. Особенностью этих данных являлось то, что они соответствуют одному из двух датчиков ветра (без уточнения какому), расположенных в начале/конце взлетно-посадочной полосы, в зависимости от рабочего курсового угла 70 или 250° в момент измерения, т. е. от направления ветра. Считалось, что это заметным образом не повлияет на полученные результаты. При этом также использовались многолетние наблюдения станций Балыкчи и Курское [2, 8], которые сопоставлялись с результатами наблюдений в аэропорту.

#### ***Средние месячные и годовые скорости ветра в районе АП Иссык-Куль и на сопредельных метеостанциях Балыкчи и Курское***

В таблице 1 приведены основные статистики распределений скорости ветра, а на рисунке 2 показаны графики соответствующих гистограмм, полученные в аэропорту Иссык-Куль по данным наблюдений за 2017 г. Из этих данных следует, что в АП среднее годовое значение скорости ветра  $V_r = 3,6$  м/с, при этом весной, летом и осенью средние скорости близки между собой ( $V = 3,5–3,7$  м/с) и только зимой они немного ниже ( $V = 3,3$  м/с). Эти значения являются повышенными не только для Иссык-Кульской котловины (исключая станцию Балыкчи, где по [1]  $V_r = 4,1$  м/с, а по более ранним данным [8]  $V_r = 4,7$  м/с), но и для всей территории Кыргызстана. Только 4 его станции из 75 отмечают более высокие средние годовые скорости, равные 4,1–4,7 м/с. Причем три из них – перевал Долон, Иркештам и Тюя-Ашу северная – расположены в гребневой зоне хребтов на высотах около 3 км.

На гистограммах рисунка 2 хорошо видно, что годовое и сезонное распределения скоростей одно-модальны, их модальные значения соответствуют 3 м/с, а правые ветви распределений намного длиннее левых. При этом повторяемости того, что скорости ветра примут значения 10 м/с и выше, оказались равными (в %): год – 1,94, зима – 0,13, весна – 3,01, лето – 1,26 и осень – 2,79. Соответственно этому все распределения имеют сильную правую асимметрию ( $A = 2–24$ ) и очень большой эксцесс ( $E = 16–247$ ). Временная изменчивость скоростей относительно мала зимой  $C = 0,43$  и весной  $C = 0,62$ , тогда как летом и осенью она высокая  $C = 0,99–1,15$ , при этом в среднем для года  $C = 0,54$ .

Интересно сравнить данные о средних скоростях ветра, полученные в аэропорту за 2017 г. с их многолетними значениями на сопредельных метеостанциях Балыкчи и Курское. Такие данные по последнему климатическому справочнику [1] приведены в таблице 2, а на рисунке 3 показаны графики

Таблица 1 – Статистики распределений скорости ветра для года и его сезонов по данным наблюдений в аэропорту Иссык-Куль за 2017 г.

V – среднее значение; СКО – среднее квадратическое отклонение;

С – коэффициент вариации; А – коэффициент асимметрии; Е – коэффициент эксцесса

Сезон	Статистики					Число случаев
	V, м/с	СКО, м/с	С	А	Е	
Зима	3,3	1,4	0,43	2,0	16,3	3037
Весна	3,6	2,2	0,62	23,9	246,8	4416
Лето	3,5	3,5	0,99	10,4	103,4	4378
Осень	3,7	4,3	1,15	16,7	154,8	4368
Год	3,6	1,9	0,54	14,6	143,7	16199

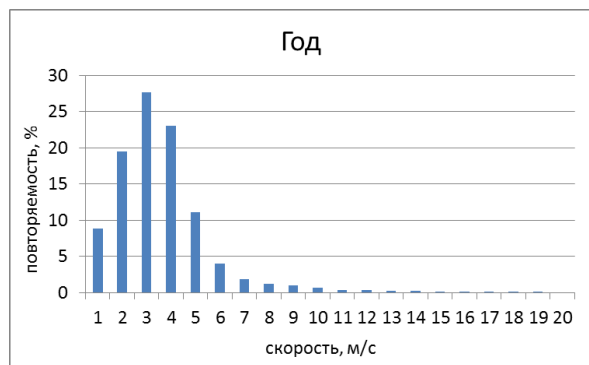
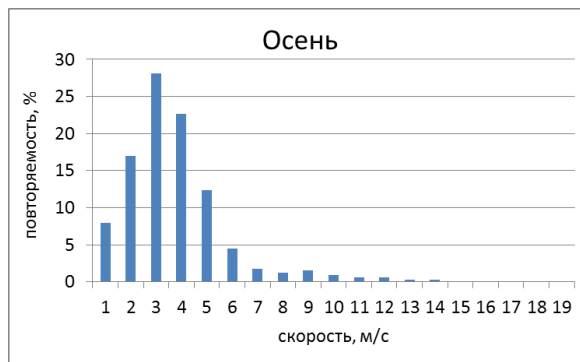
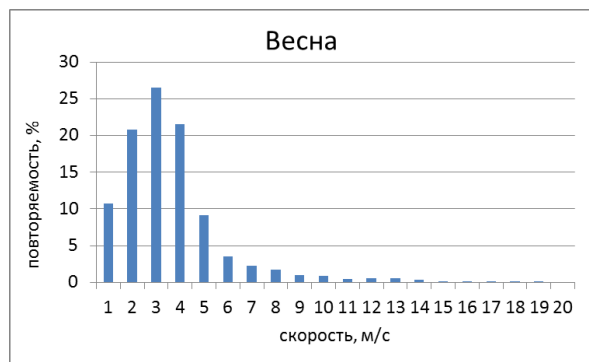
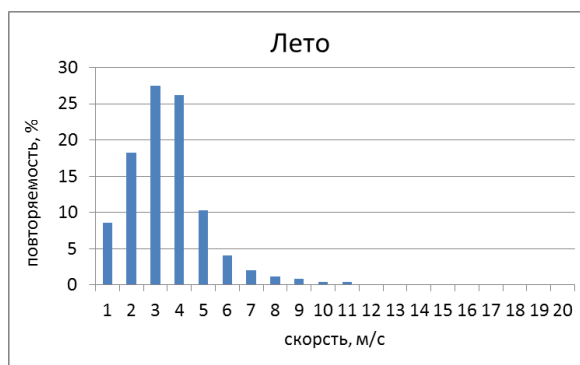
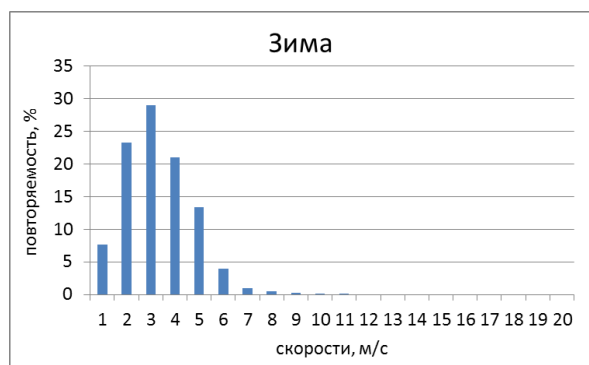


Рисунок 2 – Гистограммы распределений скорости ветра для года и его сезонов по данным наблюдений в аэропорту Иссык-Куль за 2017 г.

годового хода средних месячных скоростей по трем этим пунктам. Из этих данных, прежде всего, следует, что средняя годовая скорость ветра в аэропорту, равная  $V_r = 3,6$  м/с, лишь на 0,5 м/с меньше, чем в Балыкчи, где  $V_r = 4,1$  м/с, тогда как в с. Курское ( $V_r = 1,8$  м/с) она меньше более чем в два раза. Однако это вовсе не означает, что в районе АП Иссyk-Куль режим средних скоростей аналогичен режиму в Балыкчи, но только с несколько пониженным фоном их значений. Это хорошо видно из сравнения графиков их годового хода, показанных на рисунке 3: годовой ход скорости на станции Балыкчи и в аэропорту хорошо совпадают лишь в течение 4-х месяцев – с июня по сентябрь. В остальное время года кривая годового хода в аэропорту лежит на 0,5–1 м/с ниже, чем в Балыкчи. Но, самое главное, график в аэропорту не имеет четких максимумов весной и осенью, которые наблюдаются в Балыкчи и связаны с повышенной повторяемостью улана в эти сезоны. Корреляция средних месячных скоростей в аэропорту и в Балыкчи оказалась слабой, коэффициент корреляции  $r = 0,37$ , что говорит о существенном влиянии различных факторов на формирование режима скоростей в обоих пунктах. Заметим также, что для станций Балыкчи и Курское корреляционная связь средних скоростей ветра практически отсутствует ( $r = -0,1$ ). Сравнение графиков годового хода во всех трех пунктах также ясно показывает, что на станции Курское, в отличие от аэропорта и Балыкчи, ход скоростей в течение всего года ровный. На нем нет весенних и осенних максимумов и четкого летнего минимума, что особенно характерно для Балыкчи и объясняется годовым ходом повторяемостей улана. Одновременно, график хода скоростей на с. Курское лежит значительно ниже графиков для Балыкчи и аэропорта, что также говорит о том, что зона распространения улана уже не захватывает с. Курское, хотя еще накрывает аэропорт.

Таблица 2 – Средние месячные и годовые скорости ветра (м/с) в АП Иссyk-Куль (2017 г.) и на станциях Балыкчи (Б) и Курское (К) [3]

Станция	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Б	3,7	4,3	4,5	4,8	4,3	4,0	3,3	3,6	4,0	4,4	4,3	3,6	4,1
АП	3,4	3,3	3,5	3,7	3,5	4,0	3,3	3,6	4,0	3,4	3,8	2,6	3,6
К	1,9	2,0	1,7	1,8	1,8	2,0	1,6	1,5	1,7	1,9	2,1	2,0	1,8
АП/Б	0,91	0,77	0,78	0,77	0,82	1,00	0,99	1,01	1,00	0,78	0,89	0,73	0,86

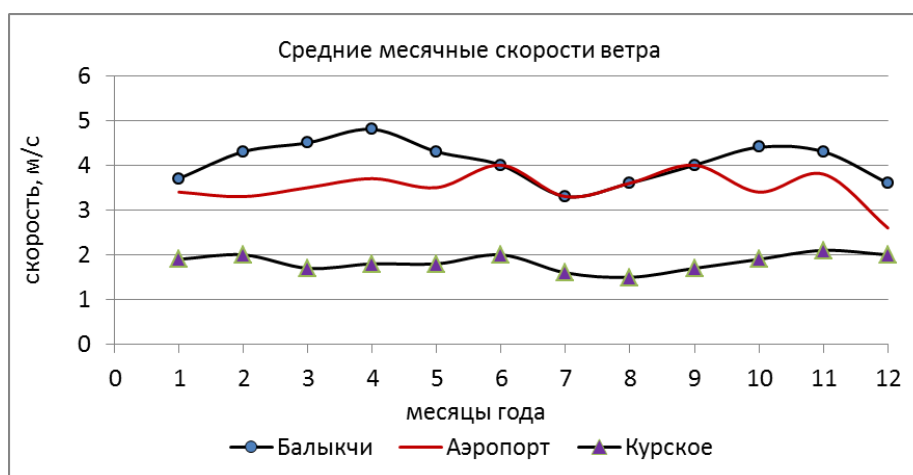


Рисунок 3 – Графики годового хода средних месячных скоростей ветра в АП Иссyk-Куль за 2017 г. и на станциях Балыкчи и Курское [3]

В таблице 3 приведены повторяемости штилей по станциям Курское и Балыкчи [1]. Из данных таблицы следует, что на обеих станциях штили наблюдаются в году достаточно часто, имея почти совпадающие средние годовые повторяемости, равные, соответственно, 23 и 24 %. Для центральных месяцев сезонов повторяемости штилей на обеих станциях меняется в пределах 17–27 %. Напротив, в АП Иссык-Куль штили наблюдаются редко: в году их всего 0,6 % случаев, а по центральным месяцам сезонов их повторяемость меняется от 0,3 % (октябрь) до 1 % (апрель). Однако эти различия с данными станций объясняются, прежде всего, более чувствительными современными анемометрами, которые используются в аэропорту. Ветер неопределенных направлений в аэропорту наблюдается гораздо чаще, чем штили в 6 % случаев для года.

Таким образом, для АП Иссык-Куль можно сделать следующие основные выводы о режиме средних месячных и годовых скоростей ветра. Годовой фон этих скоростей в аэропорту повышен, средняя годовая скорость равна 3,6 м/с, что более близко к значению в Балыкчи, где она составляет 4,1 м/с, чем к значениям, характерным для центральной части котловины, имеющими величины около 2 м/с. Имеет место лишь слабая корреляция средних месячных скоростей в аэропорту и Балыкчи. Это означает, что в аэропорту процессы усиления ветра, связанные с прохождением холодных фронтов и развитием улана, еще имеют достаточно много общего с крайней западной частью котловины, хотя они уже ослаблены и имеют свою специфику, обусловленную местной орографией. Следовательно, для средних месячных и годовых скоростей ветра в районе аэропорта Иссык-Куль наблюдается картина, соответствующая переходному режиму от характерного для крайней западной части котловины с большой повторяемостью боры улан, и значительным ее влиянием на режим средних скоростей, к режиму, характерному для ее центральной части, где этой боры и этого влияния нет.

#### **Повторяемость средних месячных и годовых направлений ветра в районе АП Иссык-Куль и на сопредельных метеостанциях Балыкчи и Курское**

В отличие от режима средних скоростей ветра, режим их направлений представляет весьма сложную картину. Это объясняется одновременным влиянием на режим направлений нескольких факторов. Рассмотрим эти факторы и покажем их возможное воздействие на формирование общей картины повторяемости направлений ветра.

Таблица 3 – Направления ветра и штилей (%) в году и для центральных месяцев сезонов

Станция	Год, месяц	Направления (румбы)								Штиль
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Балыкчи	год	12	7	20	10	2	2	41	6	24
	январь	19	8	10	6	3	2	43	9	24
	апрель	6	6	25	10	1	1	47	4	22
	июль	8	7	29	12	3	3	33	5	27
	октябрь	13	5	17	9	2	2	47	6	25
АП И-Куль	год	23	11	15	18	6	6	7	15	0,6
	январь	42	13	9	6	5	6	5	15	0,7
	апрель	15	13	21	19	8	8	5	11	1,0
	июль	14	9	16	32	7	3	5	14	0,6
	октябрь	24	8	9	15	7	7	6	24	0,3
Курское	год	20	17	17	16	11	5	6	8	23
	январь	29	28	20	5	2	3	5	8	17
	апрель	10	14	19	21	16	8	8	5	27
	июль	15	11	16	23	17	6	5	7	27
	октябрь	25	14	13	13	12	6	8	9	21

Прежде всего, повторяемости направлений ветра в любом районе определяются потоками общей циркуляцией атмосферы (ОЦА). Потоки ОЦА переваливают через горное понижение на стыке передовых хребтов-барьеров Киргизского и Кунгей Ала-Тоо, а затем опускаются в западные области днища котловины (см. рисунок 1). После опускания они приобретают чисто западное направление вследствие стабилизирующего влияния на них широтно ориентированного горного прохода, образованного западной оконечностью Куйгей Ала-Тоо и горами Омбуй. После их выхода из этого прохода, в районе побережья озера возникает неизбежная дисперсия направлений ветров ОЦА, но они все равно остаются ветрами западной четверти горизонта. Это основной фактор, обуславливающий абсолютное преобладание западных ветров в этой части котловины.

Кроме ветров ОЦА в западной части днища котловины возникают два вида горно-долинной циркуляции, аналогично тому, как это происходит в Чуйской долине [6]. Прежде всего, по всему северному побережью между южным склоном хр. Кунгей Ала-Тоо и подгорной/приозерной равниной развивается склоновая горно-долинная циркуляция (СГДЦ), которая имеет следующие направления своих дневных и ночных составляющих: дневной или долинный ветер направлен нормально к склону хребта и вверх по нему, т. е. это будут Ю и ЮВ, ЮЗ румбы; ночной или горный ветер направлен нормально к склону, но вниз по нему, т. е. это будут С и СВ, СЗ румбы с учетом ориентации склоновых долин конкретной зоны побережья. Кроме того, в теплое время года ночью, а зимой ночью и часто даже днем наблюдается стоковый ветер с южного склона Кунгей Ала-Тоо, возникающий как чисто гравитационный сток охлажденного над склонами холодного воздуха, который по направлению совпадает с ночным горным ветром. Подчеркнем особо, что он не имеет никакого отношения к процессам развития СГДЦ. Так как разделить горный и стоковый ветер как отдельные компоненты в большинстве случаев невозможно, то это приводит к некоторому завышению истинной повторяемости горного ветра. СГДЦ развивается преимущественно в теплое время года при хорошей ясной и малооблачной погоде, разрушаясь при фронтальных процессах и грозах. Зимой она часто выражена только горным ветром, когда прогрев склонов днем недостаточен для развития долинного ветра. Днем в это время вместо долинного ветра может наблюдаться стоковый ветер.

Кроме СГДЦ, в крайней западной части днища ИКК, в упомянутом горном проходе между горами Омбуй и южным склоном Кунгей Ала-Тоо, развивается вторая форма горно-долинных циркуляций, которую можно назвать собственно (или просто) горно-долинной циркуляцией (ГДЦ) [7]. Составляющие ГДЦ, в соответствии с ориентацией прохода, здесь направлены широтно: дневной или долинный ветер будет соответствовать западному румбу, а ночной или горный – восточному румбу. То есть дневной долинный ветер по направлению совпадает с ветрами ОЦА.

Кроме этих двух видов горно-долинной циркуляции, между подгорной равниной и зеркалом озера возникает еще одна местная циркуляция – бризовая. Бризы имеют следующие направления своих дневных и ночных составляющих: дневной или морской (озерный) бриз, дует примерно нормально к береговой черте со стороны открытого озера, т. е. это Ю и ЮЗ, ЮВ румбы с учетом местных особенностей побережья; ночной или береговой бриз, дует также примерно нормально к береговой черте, но в сторону открытого озера, т. е. это С, СЗ и СВ румбы с учетом местных особенностей побережья. Бризы, как СГДЦ и ГДЦ, развиваются преимущественно в теплое время года при хорошей ясной и малооблачной погоде, разрушаясь при фронтальных процессах и грозах. Зимой бризы ослаблены или могут не наблюдаться вовсе. Следует особо отметить, что соответственно дневные и ночные составляющие СГДЦ и бризов в пределах приозерной/подгорной равнины совпадают по направлению, и поэтому накладываются и усиливают друг друга. Во многих случаях их трудно различить как отдельные составляющие, так что обычные наблюдения дают возможность только оценить совместную повторяемость бризов и СГДЦ.

Северное побережье Иссык-Кульской котловины, особенно его центральная и восточные области, являются самыми грозоопасными районами Кыргызстана [9]. Среднее годовое число гроз здесь увеличивается с запада на восток: в Балыкчи – 33 грозы, в Чолпон-Ате – 49, на станции Красный Октябрь

(располагалась северо-восточнее пос. Тюп) – 69. При этом максимальное число гроз по высоте приурочено к подножью склонов, имеющих отметки около 2 км. Во время гроз локально подавляются СГДЦ, бризы, ветры общей циркуляции атмосферы, и под грозовым облаком возникает своя местная циркуляция, как правило, с сильными шквалистыми ветрами с резко меняющимся направлением. При этом активный грозовой сезон в котловине длится с апреля по октябрь (с максимумом гроз в июле), но около 1 % гроз наблюдается еще и в ноябре. Эта интенсивная грозовая деятельность также вносит свой вклад в общую повторяемость направлений ветра.

В западной части днища ИКК часто, около 50 случаев в году, наблюдается сильный местный штормовой ветер – бора улан. Он возникает при обвалах холодных воздушных масс в котловину через упомянутое горное понижение на стыке горных хребтов-барьеров Киргизского и Кунгей Ала-Тоо. Заток холода происходит над Боомским ущельем на высотах 2 км и выше, где стык хребтов имеет характер достаточной по ширине приподнятой перемычки для масштабного вторжения холода в котловину. В самом Боомском ущелье, вследствие его извилистости и узости, больших скоростей ветра не возникает. За счет влияния широтного горного прохода между хр. Кунгей и горами Омбуя на станции Балыкчи улан всегда имеет чисто западное направление. По имеющимся на сегодняшний день данным он захватывает зону от выхода из Боомского ущелья на западе, район Балыкчи (ядро зоны с уланом), аэропорта Иссык-Куль и прослеживается еще несколько восточнее, не достигая пос. Сары-Ой (в прошлом Курское) и Чолпон-Аты. Детальная метеорологическая и аэрологическая характеристика улана по данным станции Балыкчи и наблюдениям в аэропорту приведена в работах [4–6], и здесь она рассматриваться не будет. Заметим только, что анализ шаропилотных наблюдений в Балыкчи и некоторые косвенные данные указывают на возможность развития также струй сильных северных ветров через высокие перевалы хр. Кунгей Ала-Тоо, т. е. на хотя и редкое, развитие уланов северных направлений. Однако этот вопрос пока еще остается неизученным. Например, в зоне побережья от Тамчи до Чолпон-Ата, может также наблюдаться в течение нескольких часов подряд сильный северный, северо-западный ветер с повторяемостью около 10 % со стороны южного склона хр. Кунгей Ала-Тоо, который носит у местного населения название «горняк». Природа его пока остается совершенно неясной. Процессы развития улана, и связанные с ними ветры западной четверти горизонта, вносят существенный вклад в общую повторяемость ветров в крайней западной области северного побережья ИКК.

Только представляя все рассмотренные выше закономерности формирования режима ветра в изучаемом районе можно объяснить наблюдаемую сложную картину распределения его повторяемостей в году и по отдельным сезонам. В таблице 3 приведены повторяемости направлений ветра для года и центральных месяцев сезонов в АП Иссык-Куль по наблюдениям за 2017 г. и по многолетним данным для станций Балыкчи и Курское [1]. Для наглядности на рисунке 4 показаны графики роз направлений ветра, построенные по данным этой таблицы.

Так, в Балыкчи на розе направлений ветра для года четко выделяются 4 основных шипа, соответствующие 3 (41 %), С (12 %), В (20 %) и ЮВ (10 %) румбам, дающим суммарную повторяемость 83 %. Несомненно, что западный ветер, имеющий наибольшую повторяемость, связан, прежде всего, с ветрами ОЦА и процессами развития улана, а также с долинной составляющей ГДЦ, развивающимися в лежащем западнее горном проходе, и береговым бризом. Северный ветер может быть объяснен горной составляющей СГДЦ, гравитационным стоком и также береговым бризом. Восточный ветер – это дневной озерный бриз и горный ветер ГДЦ. Наконец, юго-восточный ветер – это также озерный бриз и долинная составляющая СГДЦ.

Для центральных месяцев сезонов общий вид розы ветров в Балыкчи сохраняется: во все сезоны основным шипом остается 3 румб, причем его повторяемость максимальна весной (47 %) и осенью (47 %), когда максимальна повторяемость улана, и минимальна летом (33 %), когда повторяемость улана минимальна. Второе и третье место по повторяемости последовательно занимают: зимой С (19 %) и В (10 %) румбы, весной В (25 %) и ЮВ (10 %) румбы, летом В (29 %) и ЮВ (12 %) румбы и осенью С (13 %) и В (17 %) румбы. Четко прослеживается картина увеличения зимой и осенью повторяемостей



северного направления (со стороны гор) – это ночные горные ветры СГДЦ, гравитационный сток и береговой бриз. Одновременно остается повышенной повторяемость во все сезоны восточного направления (ветер со стороны озера): зима 10 %, весна 25 %, лето 29 % и осень 17 %. Кроме того, весной и летом восточное направление усиливается юго-восточными ветрами со стороны озера (соответственно 10 и 12 %). Это дневные бризы и долинны ветры СГДЦ. Следовательно, для Балыкчи во все сезоны и в году в целом главными по повторяемости остаются ветры 3 румба и еще трех румбов – С, В и ЮВ, которые определяются ветрами ОЦА, процессами развития боры улан, бризами и СГДЦ.

Для станции Курское, располагавшейся в 1,5 км от берега и удаленной от Балыкчи примерно на 70 км к востоку, прежде всего, отсутствуют два важных фактора, имевших большое значение для режима направлений ветра в Балыкчи: здесь нет горного прохода, стабилизирующего по направлению ветры ОЦА в чисто западные, отсутствуют или сильно ослаблены процессы, связанные с развитием улана. Поэтому на графиках роз направлений ветра для станции Курское сразу обращает на себя внимание гораздо более высокая дисперсия направлений ветра. Розы ветров в году и по сезонам имеют овальную форму, на них нет столь острых шипов, как в Балыкчи и нет преобладания западного направления ветра.

Что касается направления бризов, то здесь надо учесть наблюдающийся резкий излом береговой черты. В 12 км восточнее с. Курское находится большой полуостров, и береговая черта с широтного направления резко меняется на южное. Поэтому озерные бризы имеют Ю и ЮЗ румбы, а береговые – С, ЮВ и даже В румбы.

Так, на станции Курское для года на графике роз можно выделить две группы преобладающих направлений ветра. Первая группа – это СЗ (8 %), С (20 %) и СВ (17 %) румбы, в сумме дающие повторяемость 45 %. Эти направления, прежде всего, соответствуют горному ветру СГДЦ, гравитационному стоку и береговому бризу. Вторая группа направлений включает В (16 %), ЮВ (17 %) и Ю (11 %) румбы, в сумме дающие повторяемость в 44 %. Несомненно, что, прежде всего, это дневные озерные бризы и долинны ветры СГДЦ.

Розы ветров для центральных месяцев сезонов дают наглядную картину изменения повторяемости в зависимости от преобладания той или иной местной циркуляции в каждый из сезонов года. Так, зимой дисперсия направлений минимальна и три румба С (29 %), СВ (28 %) и В (20 %), соответствующие ветрам со стороны гор, дают суммарную повторяемость в 77 %. Это горные ветры СГДЦ, гравитационный сток и береговые бризы. Весной имеет место наибольшая дисперсия направлений, когда 5 румбов от С до Ю (по часовой стрелке) имеют повышенные повторяемости в пределах 10–21 %, давая в сумме значение 80 %. При этом наибольшая повторяемость соответствует В (19 %) и ЮВ (21 %) румбам. Летом роза ветров, как и следовало ожидать, напоминает зимнюю, если ее повернуть на 180°, а осенняя роза уже представляет собой переходную картину к зимней розе с резко преобладающей повторяемостью С румба (25 %).

На фоне результатов, полученных для этих двух станций, интересно понять, каков по характеру режим направлений ветра в аэропорту Иссык-Куль: будет ли он напоминать режим в Балыкчи, где находится ядро развития улана, или будет близок к режиму станции Курское с отсутствием улана, т. е. будет характерным для центральной части котловины. При этом напомним, что по [4, 6] бора улан в районе аэропорта проявляется еще весьма хорошо, а как уже было отмечено выше, там повышена частота гроз, хорошо развиты СГДЦ и бризы вследствие близости к побережью озера. Для решения этого вопроса рассмотрим повторяемости направлений ветра в аэропорту Иссык-Куль по результатам ветровых наблюдений за 2017 г., которые приведены в таблице 3 и графики роз направлений которых показаны на рисунке 4.

Как следует из рисунка 4, форма роз направлений ветра в аэропорту Иссык-Куль является промежуточной между формами роз на станциях Балыкчи и Курское. Они сжаты до формы вытянутого эллипса, а расположение их шипов для года и сезонов (кроме зимы) позволяет четко выделить для них две группы основных направлений ветра. Так, для года первая группа направлений включает СЗ

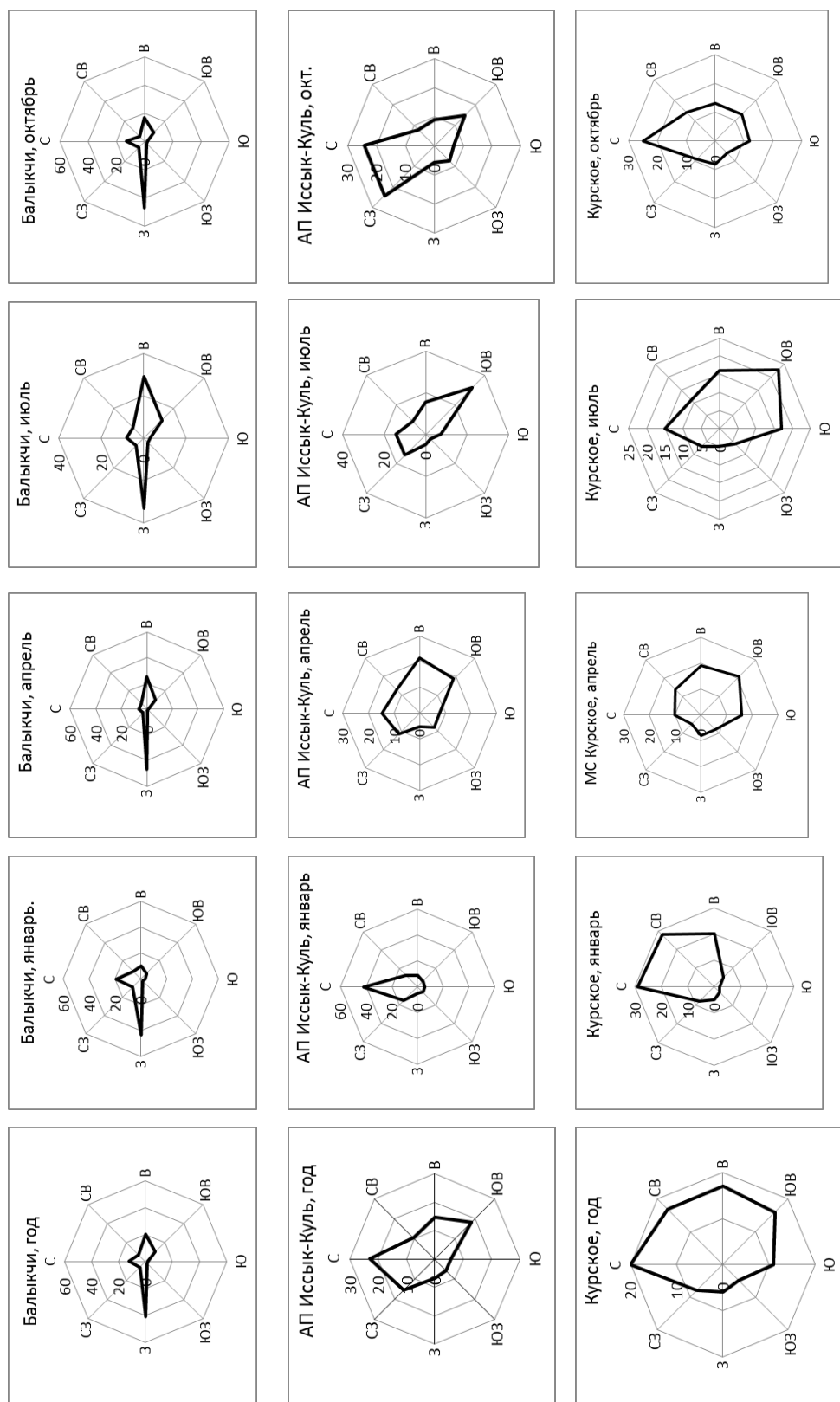


Рисунок 4 – Розы направлений ветра в аэропорту Иссыйк-Куль за 2017 г. и на метеостанциях Балыкчи и Курское [1] для года и центральных месяцев сезонов

(15 %), С (23 %) и СВ (11 %) румбы, что дает суммарную повторяемость 49 %. Это горный ветер СГДЦ, стоковые ветры, береговой бриз и, в меньшей степени СЗ ветры ОЦА. Вторая группа направлений соответствует В (15 %) и ЮВ (18 %) румбам, что в сумме дает 33 %. Это дневные озерные бризы и долинны ветры СГДЦ с некоторой долей ветров при грозах. На эти две группы приходится около 82 % повторяемостей, тогда как на остальные три румба – Ю (6 %), ЮЗ (6 %) и З (7 %) – около 19 %. Это ветры ОЦА с некоторой долей дневных озерных бризов и ветров при грозах.

Зимой в аэропорту дисперсия направлений ветра минимальна, роза направлений имеет только один очень резко выраженный северный шип, дающий суммарную повторяемость в 70 % и включающий три румба: СЗ (15 %), С (42 %) и СВ (13 %). Это ветры со стороны гор (вниз по долине р. Чок-Тал), включающие горную составляющую СГДЦ, гравитационный сток и процессы, связанные с развитием улана, который в аэропорту имеет направление, близкое к СЗ и ЗСЗ румбам. Интересно, что по остроте северного шипа январская роза в аэропорту очень близко напоминает январскую (с западным шипом) розу в Балыкчи, а по направлению шипа – она соответствует январской розе в с. Курское. Обращает на себя внимание и значительное преобладание зимой в аэропорту северного направления (42 %), такое наблюдается только в Балыкчи для западного направления, связанного, в первую очередь, с ветрами ОЦА и уланом. Возникают обоснованные аналогии этих двух ситуаций для рассматриваемых пар пунктов.

Весной в аэропорту дисперсия направлений ветра наибольшая в году и роза направлений по форме более похожа на розу в с. Курское. Преобладают две группы направлений (со стороны озера и со стороны гор): первое включает В (19 %) и ЮВ (21 %) румбы – это дневные бризы и долинны ветры СГДЦ; второе включает СЗ (11 %), С (15 %) и СВ (13 %) румбы – горные ветры СГДЦ, гравитационный сток, ночные бризы и частично СЗ ветры ОЦА. Остальные три румба – Ю, ЮЗ и З – имеют повторяемости 5–8 %. Это дневные бризы, долинны ветры СГДЦ и ветры ОЦА.

Летом в аэропорту Иссык-Куль дисперсия направлений уменьшается, и роза ветров по сравнению с весенней значительно сжимается, образуя два четко выраженных шипа, дающих суммарную повторяемость 85 %. Первый основной шип (ветры со стороны озера) образован двумя румбами – ЮВ (32 %) и В (16 %), что составляет 48 %, это дневные озерные бризы и долинны ветры СГДЦ. Второй шип (ветры со стороны гор) образован тремя румбами – СЗ (14 %), С (14 %) и СВ (9 %), что в сумме дает 37 %, это горные ветры СГДЦ и береговые ночные бризы. На остальные три румба – Ю, ЮЗ и З – приходится повторяемости по 3–7 %.

Следует отметить, что в основные сезоны зима и лето дисперсия направлений ветра минимальна и розы направлений в аэропорту выражены четче всего: зимой – это только один шип (повторяемость 70 %), представляющий направления ветра со стороны гор, летом два шипа, представляющие направления ветра со стороны озера (повторяемость 48 %) и со стороны гор (37 %).

Осенью в аэропорту, как и на станции Курское, происходит перестройка к зимним условиям местных циркуляций, и роза направлений ветра принимает вид двух резко выраженных шипов, дающих в сумме 77 %. Первый из них основной (ветры со стороны гор), который образован СЗ (24 %), С (24 %) и СВ (8 %) румбами, дающими в сумме 56 %. Он связан с горным ветром СГДЦ, береговыми бризами и стоковым ветром. Второй шип (ветры со стороны озера) связан с В (9 %), ЮВ (15 %) и Ю (7 %) румбами, дающий в сумме 21 %. Это дневные долинны ветры СГДЦ, озерные бризы.

Таким образом, в районе аэропорта Иссык-Куль в повторяемости направлений ветра для года и его сезонов наблюдается переходной режим от характерного для крайней западной части котловины к режиму, характерному для центральной части котловины. Для него одновременно имеет место существенное влияние процессов как связанных с ОЦА, вторжениями холода в котловину и развитием улана, так и с развитием местных циркуляций – бризов, СГДЦ и стоковых ветров. При этом, с учетом особенностей, связанных с положением аэропорта на северном побережье и местных орографических условий, зимой режим направлений по характеру ближе к режиму, наблюдаемому в крайней западной

части северного побережья котловины (станция Балыкчи), а летом ближе к режиму, наблюдаемому в центральной части северного побережья котловины (станция Курское).

Выше были приведены результаты анализа, исходя из повторяемостей направлений ветра, рассчитанных по 8 румбам, каждый из которых соответствует угловому сектору в  $45^\circ$ , что принято при наблюдениях за ветром на метеостанциях. Повышенная частота измерений направлений ветра в АП Иссык-Куль (48 измерений в сутки) позволила получить объем данных, достаточный для оценки повторяемости направлений ветра, соответствующих угловым секторам в  $10^\circ$ , т. е. в 4,5 раза меньше. Напомним, что при гипотетически равномерном распределении повторяемостей направлений ветра на сектор в  $45$  и  $10^\circ$  приходится соответственно повторяемости в 12,5 и 2,8 %.

Полученные в результате более детализированные розы направлений ветра для года и центральных месяцев его сезонов показаны на рисунке 5. Из сравнения роз направлений ветров для аэропорта на рисунках 4 и 5, прежде всего, следует, что основные закономерности распределения повторяемостей ветра на обоих графиках идентичны. Но детализированные графики роз на рисунке 5 позволяют более точно выделить главные направления ветра с повышенными повторяемостями. Так, детализированные на рисунке 5 розы направлений как для года, так и центральных месяцев сезонов, приобрели более сжатый вид с двумя основными шипами, соответствующими углам в  $330\text{--}340^\circ$  и  $120\text{--}130^\circ$ . Первый из них по 16-румбовой шкале (угловой сектор  $22,5^\circ$ ) близок к ССЗ румбу, а второй – к ВЮВ румбу. Это наиболее часто наблюдаемые направления или основные моды круговых распределений ветра. В рельефе местности для этих направлений должны существовать стабилизирующие орографические складки. Для угла  $330\text{--}340^\circ$  – это ориентация нижней части склоновой долины р. Чок-Тал,

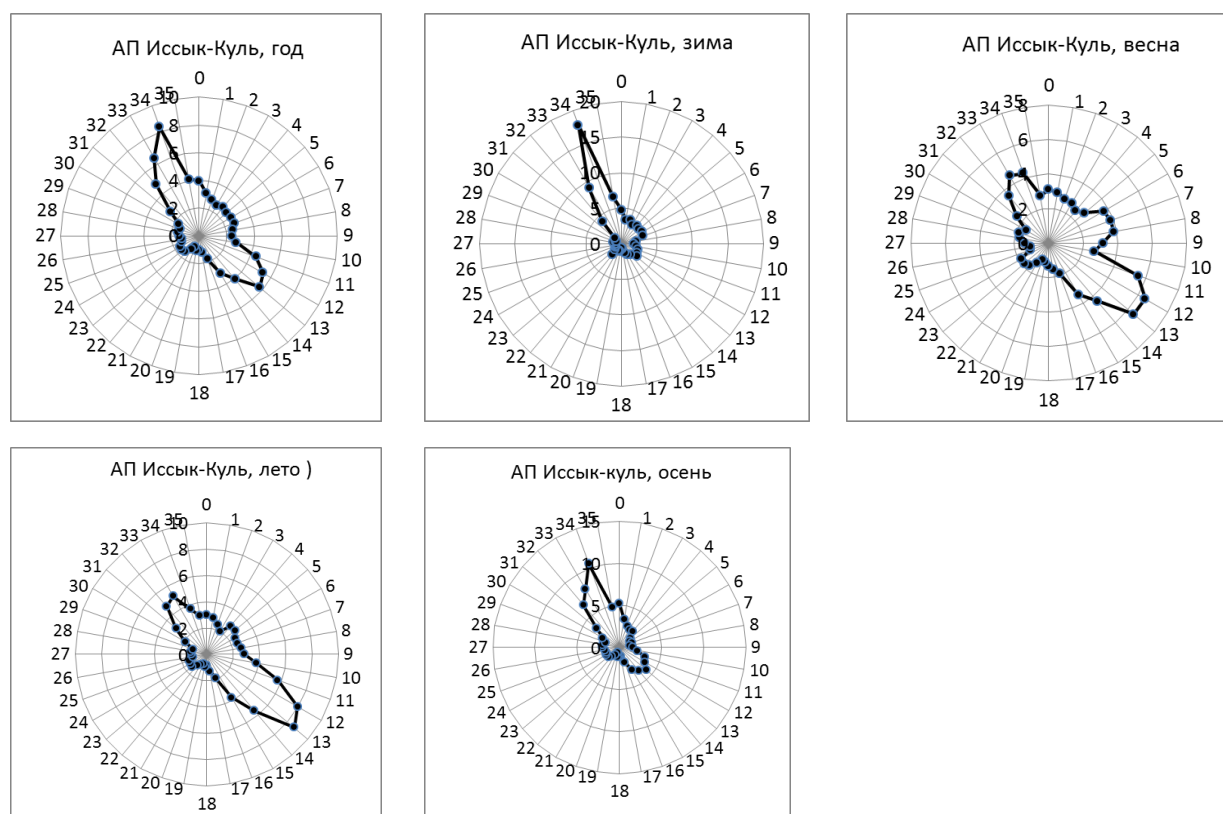


Рисунок 5 – Розы направлений ветра в АП Иссык-Куль для года и центральных месяцев сезонов для угловых секторов в  $10^\circ$  (шкала направлений ветра подписана в десятках градусов)

определяющей направление горного ветра СГДЦ и гравитационного стока, второй – 120–130° – связан с озерным бризом и долинной составляющей СГДЦ, дующими примерно нормально к береговой черте.

По сезонам года степень сжатости роз заметно меняется, что равносильно изменению дисперсии направлений. В январе предельно резко выражен единственный шип розы направлений ветра, соответствующий углу в 330–340° (СЗ направление по 16-румбовой шкале). Это соответствует наименьшей дисперсии направлений ветра, наблюдающейся в зимние месяцы года. В апреле, напротив, появляется третий лепесток розы, с заметно увеличенной повторяемостью ветра, соответствующий углу в 60–80°, что говорит о повышенной дисперсии направлений ветра весной. В июле и октябре степень сжатости лепестков роз принимает промежуточное значение между максимальной сжатостью в январе и минимальной в апреле, соответствуя примерно степени сжатости для года.

Разумеется, в среднем для года и по месяцам центральных месяцев сезонов величина повторяемости направлений ветра, соответствующая шипам с максимальным ее значением, существенно меняется. Так, розе направлений ветра для года шипу с углом в 340° соответствует повторяемость направлений около 8 %, а второму шипу с углом в 130° – около 6 %. Зимой предельно резко выраженному единственному шипу с углом в 340° соответствует повторяемость около 17,5 %. В апреле три шипа с углами в 340, 70 и 120 (130)° имеют соответственно повторяемости в 4,5, 4 и 4,5 %. В июле двум шипам с углами 330 и 130° соответствуют повторяемости в 5 и 8,5 %. Наконец, в октябре также двум шипам с углами в 340 и 130° соответствуют повторяемости в 10,5 и 4 %.

Предварительный анализ детализированных роз направлений ветра в аэропорту Иссык-Куль, кроме полученных практических результатов, позволяет по-новому взглянуть на возможности использования современных более точных ветровых наблюдений для решения прикладных задач, требующих знания повышенной точности оценок круговых распределений направлений ветра.

**Выводы.** Средние годовые скорости ветра в АП Иссык-Куль, равные 3,6 м/с, по сравнению со значениями, характерными для центральной части котловины (около 2 м/с), повышены и более близки к скоростям для станции Балыкчи, равным 4,1 м/с. Однако коэффициент корреляции средних месячных скоростей в аэропорту и Балыкчи мал и равен 0,37. Это означает, что усиления ветра, связанные с прохождением холодных фронтов в крайней западной части котловины, здесь еще имеют многие общие черты с районом Балыкчи, хотя и несколько ослаблены. Одновременно годовой ход средних месячных скоростей в АП Иссык-Куль достаточно ровный, что типично для центральной части котловины, здесь нет хорошо выраженных весенних и осенних максимумов, как в Балыкчи.

Режим направлений ветра в АП Иссык-Куль имеет весьма сложный характер, так как одновременно определяется ветрами общей циркуляции атмосферы, хорошо развитыми бризами, склоновой горно-долинной циркуляцией, гравитационным стоком холодного воздуха по склонам Кунгей Ала-Тоо, повышенной частотой гроз и процессами развития улана. В результате, в среднем для года по повторяемости преобладают 5 румбов – по ходу часовой стрелки от СЗ до ЮВ – с повторяемостью 11–23 %. Зимой гравитационный сток и горный ветер абсолютно преобладают, и роза направлений имеет вид острого северного «шипа», представленного тремя румбами: СЗ (15 %), С (42 %) и СВ (13 %), что в сумме составляет 70 %. Весной дисперсия направлений наибольшая в году с некоторым преобладанием В (19 %) румба и ЮВ (21 %) румба. Летом роза направлений имеет два четких шипа: первый представлен ЮВ (32 %) и В (16 %) румбами, дающими в сумме 48 %; второй – СЗ (14 %) и С (14 %) румбами, дающими в сумме 28 %. Осенью происходит перестройка к зимнему типу в распределении направлений ветра: резко возрастают повторяемости СЗ (24 %) и С (24 %) румбов и одновременно уменьшается повторяемость ЮВ (15 %) румба. Для года и его сезонов приведены детализированные графики роз направлений ветра по угловым секторам в 10°, дающие уточненную картину сезонных повторяемостей его направлений.

Следовательно, в районе аэропорта Иссык-Куль как по режиму средних скоростей ветра, так и режиму их направлений наблюдается переходная картина от режима ветра, характерного для крайней

западной части котловины, где находится ядро зоны развития улана, к режиму, характерному для ее центральной части, где улана нет.

Поступила: 06.09.22; рецензирована: 20.09.22; принята: 23.09.22.

*Литература*

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 32. Киргизская ССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 375 с.
2. Климат Киргизской ССР / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 279 с.
3. Атлас Киргизской ССР. Т. 1. Природные условия и ресурсы. М.: ГУКГ СССР, 1987. 157 с.
4. Подрезов О.А. Бури в аэропорту Иссык-Куль: анализ автоматизированных метеорологических измерений за 2017–2019 гг. / О.А. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2020. № 4. С. 6–29.
5. Подрезов О.А. Характеристика режима бурь в аэропорту Иссык-Куль / О.А. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2020. № 1. С. 31–41.
6. Подрезов О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 170 с.
7. Подрезов О.А. Основные закономерности режима ветра на территории Тянь-Шаня / О.А. Подрезов // Гидрометеорология и образование. 2020. № 3. С. 20–41.
8. Справочник по климату СССР. Вып. 32. Киргизская ССР. Часть 3. Ветер. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 387 с.
9. Подрезова Ю.А. Климатическая характеристика гроз на территории Кыргызстана / Ю.А. Подрезова, О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. 136 с.