

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ КОСМОДРОМА «БАЙКОНУР»

О. И. Золотухина^{1,2}, В. П. Горбатенко¹, П. А. Вареник²

¹Томский Государственный Университет
634050 Томск, пр. Ленина, 36

²Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» — «Космический центр «Южный»
468320 Байконур, ул. Титова, 9.
e-mail: vpgor@tpu.ru; zolot_o@sibmail.com

Поступила в редакцию 1.06.2015
Поступила после доработки 28.07.2015

Введение

Параметры ветра влияют на все сферы человеческой деятельности. Не исключением являются и работы по подготовке и пуску ракет космического назначения. Каждая конкретная операция выполнения работ по подготовке и пуску имеет определённые ограничения по параметрам ветра, которые отражены в эксплуатационной документации на каждую конкретную ракету космического назначения (РКН).

Согласно статистике пуски РКН космодромах на «Байконур» и «Плесецк» переносятся по метеорологическим условиям не реже, чем раз в пять лет. При этом значения метеорологических параметров близкие к критическим, установленным эксплуатационной документацией на каждое конкретное изделие, при которых требуется проведение детального моделирования поведения РКН в полете, фиксируются 5—7 раз в год. Кроме критических значений скорости ветра в летние месяцы представляют опасность явления погоды, связанные с развитием конвекции, которые могут оказать существенное влияние на ход выполнения работ с РКН в период ее подготовки на стартовом комплексе (Горбатенко, 2009).

Целью настоящей работы является определение характеристик ветра над территорией космодрома «Байконур» за период 1995—2014 гг. для использования полученных результатов при планировании работ по пуску РКН.

Ветровой режим региона определяется не только макромасштабной циркуляцией атмосферы, но и его орографией и мезоклиматическими особенностями, влияющими на перенос воздушных масс.

Основными характеристиками ветра являются его направление, скорость, порывистость, повторяемость сильных ветров (Лутфиев, 1988). Многолетние данные о режиме ветра используются для расчета климатического потенциала загрязнения атмосферы, предельно больших динамических нагрузок на высотные сооружения, эффективности ветроэнергетических установок, а так же для решения многих других задач (Журавлев, 2001; Кижнер, 2015). При планировании пусков ракет космического назначения требуется информация о характеристиках ветра не только в районе космодрома, но и по траекториям полетов, и в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей (Золотухина, 2015; Петухова, 2014).

Основные данные о ветровом режиме над территорией космодрома «Байконур» были получены в период до 1975 г. (Чередниченко, 1976). Позднее характеристики ветра над изучаемой территорией исследовались для других целей и в несколько в других аспектах (Лутфиев, 1988). При этом именно в последние десятилетия обнаружены изменения параметров ветра (Горбатенко, 2011; Ипполитов, 2011).

Согласно данным Научно-прикладного справочника по климату (1989) скорости ветра, превышающие значение 30 м/с, у земли над территорией старта РКН встречаются не чаще одного раза в десять лет. Характеристики тропопаузы и максимальный ветер над территорией Казахстана также изучались достаточно детально. В работе В. С. Чередниченко (1992) было замечено, что летом положение изотерм тропопаузы близко к зональному, а наибольшие градиенты температуры наблюдаются в августе. Амплитуда годового хода скорости максимального ветра наименьшая вдоль линии

Актюбинск — Балхаш и составляет 6 м/с (Чередниченко, 1992). К северо-востоку и к юго-западу от этой линии она плавно увеличивается до 12 м/с над г. Семипалатинск и до 16 м/с над г. Атырау. Над северо-восточной частью Казахстана максимум скорости отмечается зимой, а над юго-востоком — летом. Поскольку интересующая нас территория расположена в стороне от области малых амплитуд в годовом ходе скорости максимального ветра и имеет место сезонная неопределенность его появления, применение климатического прогноза для заблаговременного планирования времени старта РКН затруднено.

Скорость ветра в свободной атмосфере над территорией космодрома «Байконур»

Для выявления особенностей изменения параметров ветра в свободной атмосфере в районе космодрома «Байконур» по данным аэрологического зондирования на станции Байконур проведен анализ параметров ветра от поверхности земли до высоты 25 км.

На рис. 1—4 представлены вертикальные профили средней и максимальной скоростей ветра в различные месяцы, из которых следует:

- наибольшие средние и максимальные скорости зафиксированы на высотах от 8 до 12 км;
- высота слоя с наибольшими средними и максимальными скоростями ветра постепенно увеличивается от 8—10 км зимой до 13—15 км к лету и вновь уменьшается к зиме в соответствии с высотой тропопаузы. Толщина такого слоя может превышать 10 км весной, летом и осенью, но зимой она редко достигает 5 км. Наличие столь мощных слоев со скоростями ветра больше критических замечено весной в марте и апреле (рис. 2 б), осенью в октябре и ноябре (рис. 4 б) и летом в июне и июле (рис. 3 б);
- максимальные скорости в течение всего года наблюдаются на высоте 10 км и только в июне — на высоте 12 км (рис. 3 б);

- – наибольшая средняя скорость ветра в июле и в августе достигала 30 м/с на высотах 12—13 км (рис. 3 а);
- наибольшая максимальная скорость ветра (74 м/с) зарегистрирована в октябре 2004 года на высоте 10 км (рис. 4 б);
- скорости ветра более 70 м/с за рассматриваемый период, наблюдались только в октябре в слое от 8 до 11 км (рис 4 б). Сравнивая эти результаты с данными аэрологического справочника (Аэроклиматическое описание, 1984), содержащего информацию за период 1957—1981 гг., можно сказать, что повторяемость и наличие скоростей ветра более 70 м/с зимой снизилась на 7 %, в остальные сезоны года в среднем на 5 %;
- максимальная скорость ветра практически одинакова зимой, весной и летом и составляет 60—65 м/с, только осенью (в октябре) наблюдаются скорости ветра, превышающие 70 м/с (рис. 1—4).

В табл. 1 представлена повторяемость (%) скоростей ветра по градациям в пределах тех высот, где были зафиксированы наибольшие средние и максимальные скорости ветра (от 8 до 12 км). Максимальная скорость ветра не превышает в январе 40 м/с, а феврале и мае 50 м/с, во все остальные месяцы она может достигать 70 м/с.

В марте и июне повторяемость максимальных скоростей наиболее высока (в 40 % и более). Месяцы с минимальной повторяемостью опасных скоростей ветра (до 20 %): январь, май и октябрь. Максимальная повторяемость всех опасных по скорости ветра градаций в течение года наблюдается на высоте 10 км.

В целом за год в качестве относительно спокойных сезонов можно выделить зимний и осенний, когда повторяемость дней с опасными скоростями составляет 20—25 %.

В табл. 2 представлены средние месячные скорости ветра и их средние квадратические отклонения (σ) для высот, на которых наблюдались скорости ветра, превышающие критические. Поскольку значения σ велики, выделить месяцы с относительно устойчивыми значениями скорости ветра не представляется возможным.

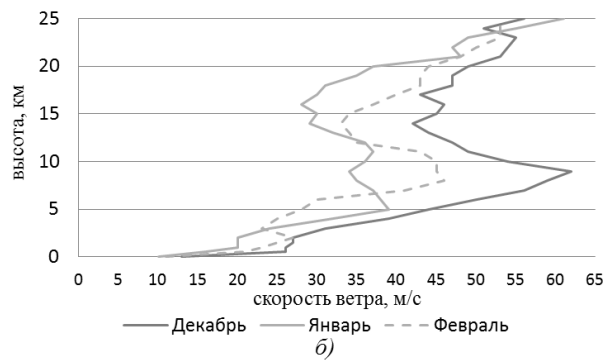
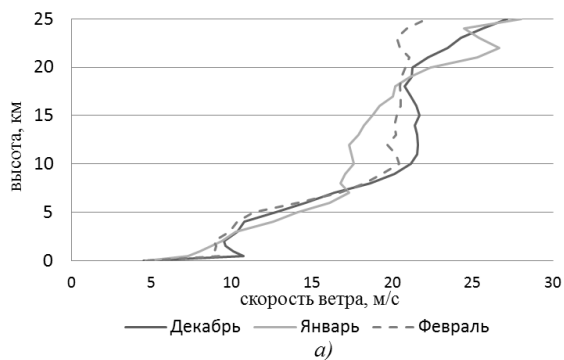


Рис. 1. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в зимний сезон.

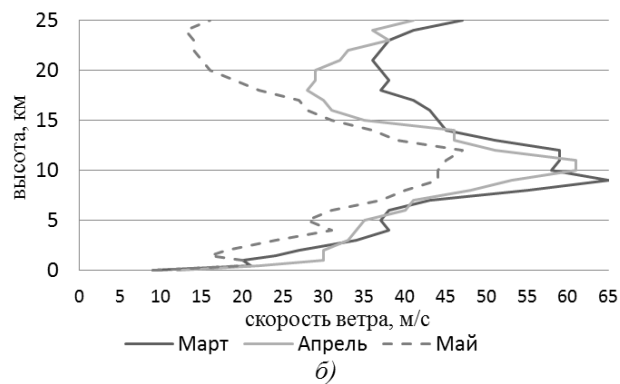
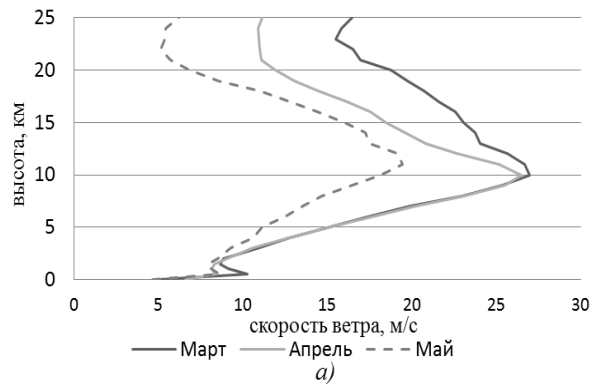


Рис. 2. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в весенний сезон.

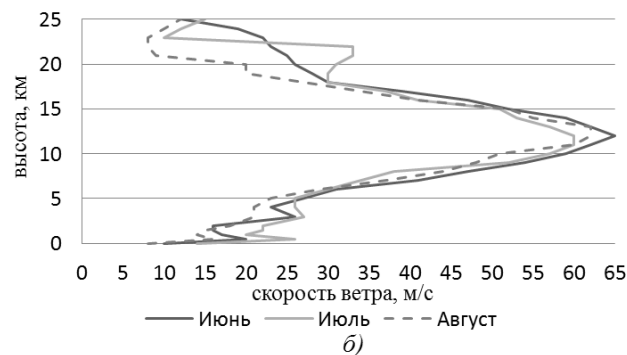
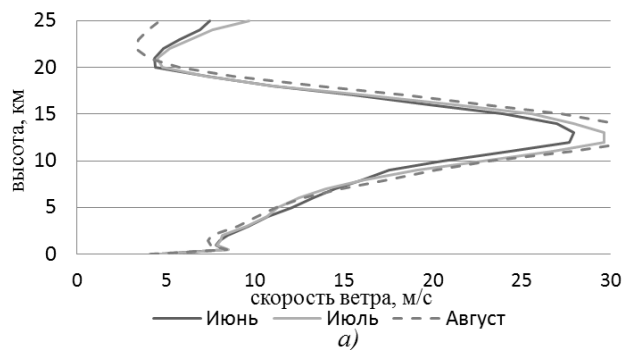


Рис. 3. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в летний сезон.

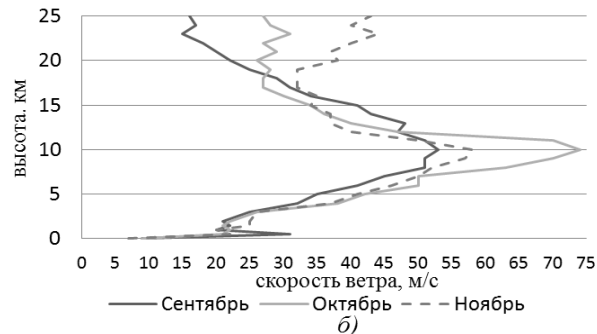
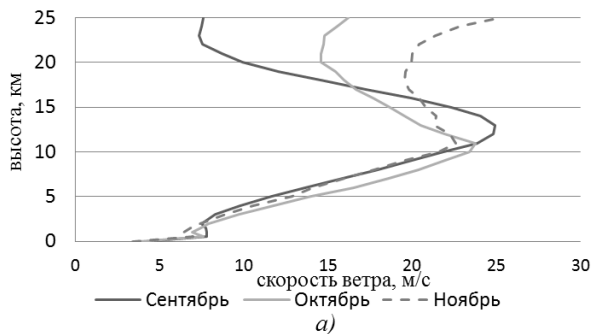


Рис. 4. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в осенний сезон.

Таблица 1

Повторяемость значений скорости ветра по градациям (%)

Высота км	Градации скорости м/с											
	30-39	40-49	50-59	60-69	30-39	40-49	50-59	60-69	30-39	40-49	50-59	60-69
	Декабрь				Январь				Февраль			
	30-39	40-49	50-59	60-69	30-39	40-49	50-59	60-69	30-39	40-49	50-59	60-69
8	17	5	3	—	13	—	—	—	13	1	—	—
9	10	9	3	1	20	—	—	—	15	4	—	—
10	12	11	3	—	13	—	—	—	20	4	—	—
11	16	13	—	—	4	—	—	—	14	3	—	—
12	18	9	—	—	7	—	—	—	11	—	—	—
	Март				Апрель				Май			
8	18	9	5	—	21	1	—	—	7	2	—	—
9	16	13	1	4	23	6	2	—	6	4	—	—
10	20	13	6	—	30	9	3	1	8	6	—	—
11	30	9	5	—	26	7	4	1	7	8	—	—
12	21	5	3	—	22	6	2	—	7	6	—	—
	Июнь				Июль				Август			
8	4	2	—	—	5	—	—	—	4	4	—	—
9	6	—	2	—	9	2	3	—	13	5	—	—
10	10	2	2	—	16	5	5	—	14	12	3	—
11	17	5	1	2	13	14	6	1	20	11	11	1
12	26	6	4	2	17	12	9	1	17	9	10	5
	Сентябрь				Октябрь				Ноябрь			
8	4	3	1	—	10	2	2	2	5	6	1	—
9	11	2	2	—	10	3	2	1	9	7	2	—
10	15	3	2	—	12	5	2	1	22	3	2	—
11	16	7	2	—	16	2	3	1	16	9	2	2
12	20	9	—	—	18	6	—	—	18	1	—	2

Таблица 2

Средняя месячная скорость ветра (v м/с) и среднее квадратическое отклонение (σ) у поверхности и на высотах

Месяц	v/σ					
	У земли	8 км	9 км	10 км	11 км	12 км
Январь	5/2	17/11	17/11	18/10	17/7	17/6
Февраль	5/2	18/10	19/10	20/11	20/9	20/7
Март	5/2	23/13	25/15	27/14	27/12	26/11
Апрель	7/2	23/10	26/12	26/12	25/13	25/11
Май	5/2	15/9	16/10	18/11	19/11	19/11
Июнь	5/2	16/8	18/9	21/11	24/12	28/13
Июль	5/2	16/8	19/11	23/13	27/14	30/13
Август	4/2	17/10	20/11	23/13	28/15	31/16
Сентябрь	4/2	18/10	20/11	22/11	24/11	25/11
Октябрь	4/2	20/11	22/12	23/12	24/12	22/10
Ноябрь	3/2	18/11	20/12	22/12	23/11	22/9
Декабрь	4/2	19/13	20/13	21/13	22/12	22/11

Таким образом, можно сделать вывод, что по сравнению с данными, полученными для второй половины XX в. (Чередниченко, 1976; Чередниченко, 1992; Аэроклиматическое описание, 1984), средние и максимальные значения скорости ветра за последние десятилетия несколько уменьшились. Наибольшие изменения пришлось на зимние месяцы, когда повторяемость всех опасных по скорости ветра градаций сократилась на 8 %. Весной и осенью повторяемость скоростей ветра превышающих 50 м/с уменьшилась примерно на 10 %, а порог в 60 м/с в последние десятилетия стал достигаться в два раза реже.

Направление ветра в свободной атмосфере над территорией космодрома «Байконур»

Попытаемся выделить преобладающее направление ветра в слоях с максимальными скоростями ветра (на высотах от 8 до 12 км) для каждого из сезонов года (табл.3):

- В зимний, весенний и осенний периоды преобладает ЮЗ ветер (55—60 %), СЗ направление составляет около 30 %.

- В летний период (июнь, июль, август) на высоте 9 км преобладает ЮЗ ветер (44,7 %), на высотах 8, 10, 11 и 12 км преобладает СЗ направление ветра. Таким образом, летом, по-видимому, увеличивается вероятность наличия сдвигов ветра по направлению.

Таблица 3

Повторяемость направлений ветра (%) в слоях с максимальным сдвигом и максимальной скоростью ветра

Высота (км)	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
<i>Зимний период</i>								
0	1,1	33,0	4,1	35,2	1,5	14,2	2,3	8,6
0,5	0,0	21,0	0,9	29,7	0,5	33,4	0,0	14,5
1,0	0,4	24,3	0,0	22,9	0,2	35,7	0,0	16,5
1,5	0,0	22,7	0,0	11,4	0,5	52,0	0,0	13,4
8	0,4	5,9	0,0	9,0	0,0	54,3	1,7	28,7
9	0,0	5,8	0,2	5,8	1,4	58,5	0,6	27,7
10	0,6	5,2	0,0	3,6	0,0	59,6	0,4	30,6
11	0,2	5,2	0,0	1,8	0,0	61,0	2,2	29,6
12	0,0	2,3	0,0	3,1	0,0	62,5	1,2	30,9
<i>Весенний период</i>								
0	1,2	33,5	6,4	21,5	2,2	17,1	4,0	14,1
0,5	0,8	37,6	0,0	26,3	0,6	21,1	0,0	13,6
1,0	0,3	34,0	0,8	21,8	0,0	27,0	0,4	15,7
1,5	1,5	30,7	0,0	20,7	0,0	36,8	1,8	8,5
8	0,0	10,4	1,1	6,1	0,0	53,9	1,0	27,5
9	0,0	9,3	0,7	3,8	0,3	54,9	0,5	30,5
10	0,0	9,1	0,0	4,4	0,0	55,7	2,6	28,2
11	0,0	9,1	0,0	2,2	0,0	59,2	1,2	28,3
12	0,0	8,1	0,0	1,8	0,0	60,8	0,8	28,5

Таблица 3 (продолжение)

<i>Летний период</i>								
0	2,9	26,8	2,4	9,4	1,3	17,0	5,5	34,7
0,5	0,5	33,1	0,0	9,8	0,0	15,0	1,6	40,0
1,0	0,3	29,7	0,3	9,5	0,0	20,3	0,4	39,4
1,5	0,0	25,9	1,3	7,4	0,0	18,0	1,9	45,5
8	0,0	9,2	0,0	0,7	0,0	40,9	1,2	48,0
9	0,4	9,2	0,0	1,6	0,0	44,7	1,9	42,2
10	0,0	5,4	0,0	0,8	0,0	43,9	1,5	48,4
11	0,0	3,4	0,0	0,4	0,0	44,8	2,5	48,9
12	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	44,9	1,4	50,2
<i>Осенний период</i>								
0	0,9	29,9	5,4	22,7	1,4	20,7	4,2	14,8
0,5	0,0	25,5	0,5	24,3	0,0	32,8	0,5	16,4
1,0	0,3	27,8	0,6	18,9	0,0	31,6	1,1	19,7
1,5	1,2	20,8	0,0	16,1	0,6	39,8	0,6	20,9
8	0,6	8,3	0,0	3,3	0,0	53,2	0,6	34,0
9	0,3	9,1	0,0	2,8	0,0	52,1	0,9	34,8
10	1,1	6,6	0,0	3,2	0,0	51,8	1,5	35,8
11	0,3	6,3	0,0	2,4	0,0	53,7	0,9	36,4
12	0,0	5,5	0,0	2,1	0,0	54,4	1,8	36,2

В целом замечено, что опасные скорости ветра формируются, в половине всех случаев на фоне юго-западного переноса, а треть случаев приходится на северо-западный перенос.

Интенсивность сдвига ветра в свободной атмосфере над территорией космодрома «Байконур»

Помимо основных характеристик ветра (направление, скорость, порывы), огромное значение приобретает знание особенностей сдвига ветра в различных слоях атмосферы.

Информацией, позволяющей выявить особенности сдвига ветра, послужили данные аэрологической станции Байконур. Материалы систематизировались за период 1995—2014 гг. Выбиралась

информация о характеристиках ветра (скорость, направление) по вертикальным слоям атмосферы до высоты 25 км.

Сдвиг ветра (ρ), представляющий собой изменение вектора ветра от одной точки пространства до другой, выражается разностью между векторами ветра в двух точках. Интенсивность сдвига ветра рассчитывается путем деления разности между векторами в двух точках на расстояние между ними:

$$\rho = \frac{\Delta V}{\Delta Z} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_1^2 - 2V_1V_2 \cos \alpha}}{\Delta Z}, \quad (1)$$

где: V_1 — скорость ветра в нижней точке (м/с);

V_2 — скорость ветра в верхней точке (м/с);

α — угол между верхней и нижней точками;

Δz — расстояние между рассматриваемыми точками (м).

Интенсивность сдвига ветра определялась по методике Глазунова В. Г. (Расследование..., 2009). Для оценки интенсивности сдвига ветра приняты градации: 0—1,25 м/с на 300 м — слабый сдвиг ветра; 1,25—3 м/с на 300 м — умеренный; 3,0—5,0 м/с на 300 м — сильный; > 5,0 м/с на 300 м — очень сильный.

Средние и максимальные значения интенсивности сдвига ветра были рассчитаны для каждого месяца за период 1995—2014 гг. (рис. 5—8). Исходя из полученных результатов, можно отметить следующее:

- слабые сдвиги ветра отмечались в слое от 3 до 10 км и от 12 до 20 км, наибольшее число дней со слабыми сдвигами ветра приходится на апрель и май месяцы;
- умеренные и сильные по интенсивности сдвиги ветра отмечались в приземном слое до высоты 3 км, наибольшее число дней с умеренными и сильными сдвигами ветра наблюдается зимой в декабре и январе, осенью в октябре и ноябре, наименьшее — в мае.

Для дней с очень сильными сдвигами ветра, которые наблюдаются в течение всего года можно выделить их следующие особенности:

- очень сильные сдвиги ветра отмечаются на трех уровнях: до высоты 3 км, в слоях от 10 до 12 км и от 22 до 25 км;
- пики интенсивности очень сильных сдвигов ветра приходятся на периоды март — апрель, сентябрь — октябрь и декабрь — январь;
- наименьшее число дней с очень сильными сдвигами ветра наблюдалось в сентябре.

В целом замечено, что наибольшая интенсивность умеренных, сильных и очень сильных сдвигов ветра приходятся на высоты до 1,5 км. Самым опасным месяцем по интенсивности сдвига ветра является декабрь, когда в слое от 1 км до 1,5 км его средние значения достигают 5,5 м/с, а максимальные 29 м/с, что говорит, о критичности проведения пусков РКН в этот месяц.

Особый практический интерес представляет направление ветра в слоях с максимальными величинами сдвига ветра до высоты 1,5 км (табл.3):

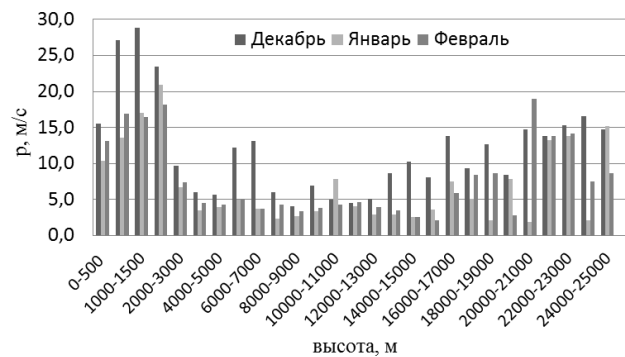
- в зимний период у земли преобладает ЮВ ветер (35 %), на высотах от 0,5 до 1,5 км ЮЗ;
- в весенний период на всех рассматриваемых высотах преобладает СЗ ветер (40 %), далее СВ (29 %), ЮЗ (18 %);
- в летний период на всех рассматриваемых высотах преобладает СЗ направление ветра (52 %), СВ (29 %);
- в осенний период (сентябрь, октябрь, ноябрь) у поверхности земли преобладает СВ ветер (30 %), на высотах от 0,5 до 1,5 км ЮЗ направление ветра.

В результате можно сделать вывод, что в дни с наличием опасных сдвигов ветра у поверхности земли может наблюдаться ветер любого направления, в то время как на высоте от 0,5 до 1,5 км он в течение летнего сезона содержит преимущественно СЗ составляющую, а во все другие сезоны года ЮЗ.

Повторяемость (%) градаций сдвига ветра на высотах до 1,5 км приведены в табл. 4.

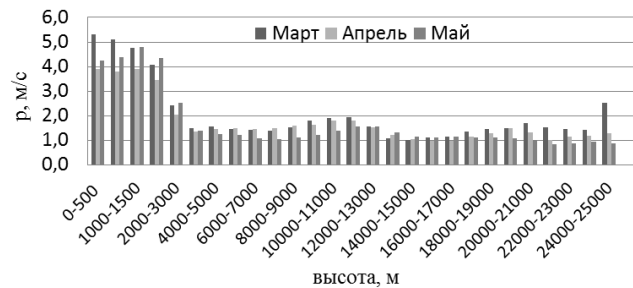


а)

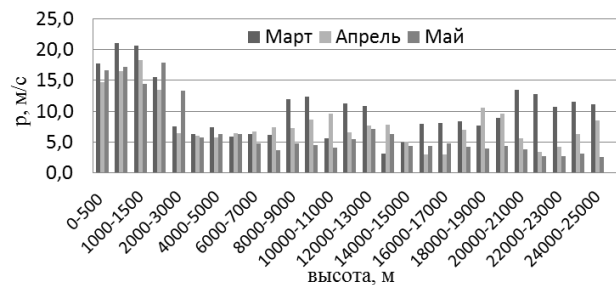


б)

Рис. 5. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах зимой



а)



б)

Рис. 6. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах весной

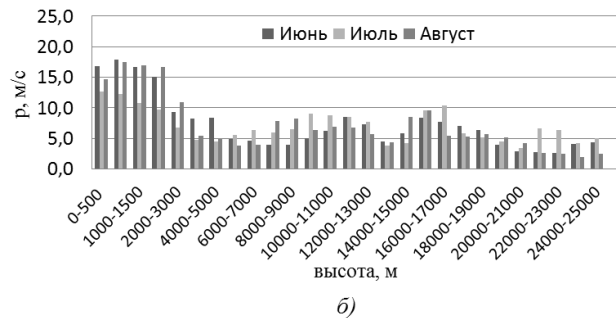
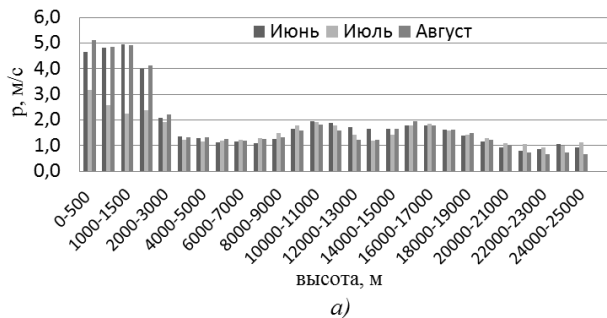


Рис. 7. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах летом

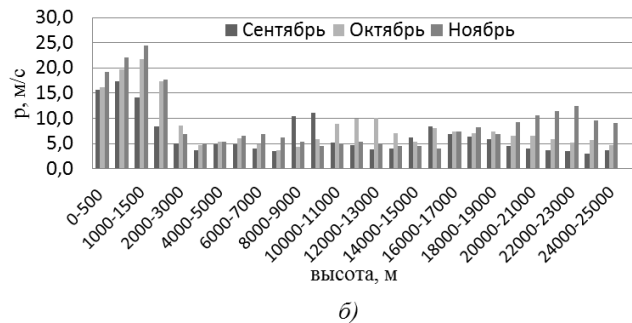
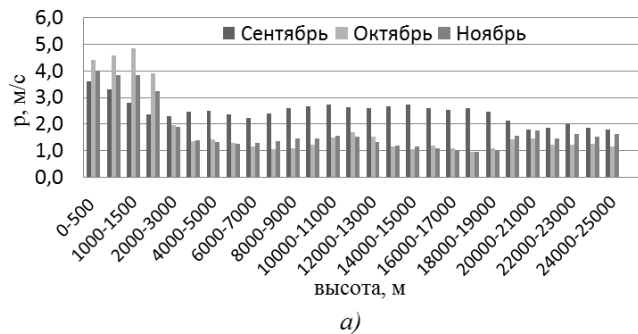


Рис. 8. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах осенью

Таблица 4

Повторяемость значений сдвига ветра по градациям (%)

Высота км	Сдвиг ветра ρ , м/с								
	1,25– 3	3,0– 5,0	> 5,0	1,25– 3	3,0– 5,0	> 5,0	1,25– 3	3,0– 5,0	> 5,0
	<i>Декабрь</i>			<i>Январь</i>			<i>Февраль</i>		
0	11	21	42	14	21	48	24	18	38
0,5	20	10	39	31	10	41	35	13	30
1,0	31	7	40	24	-	45	38	6	22
1,5	28	15	43	31	7	48	32	14	24
	<i>Март</i>			<i>Апрель</i>			<i>Май</i>		
0	20	16	48	28	18	26	26	25	31
0,5	31	8	41	31	9	26	39	5	35
1,0	35	19	20	21	19	23	18	11	38
1,5	31	19	33	28	12	30	27	11	42
	<i>Июнь</i>			<i>Июль</i>			<i>Август</i>		
0	30	24	34	32	16	25	24	33	31
0,5	24	11	36	39	11	15	29	19	27
1,0	27	12	38	28	11	10	35	17	26
1,5	33	17	34	39	10	9	36	8	33
	<i>Сентябрь</i>			<i>Октябрь</i>			<i>Ноябрь</i>		
0	25	28	18	37	15	28	32	21	24
0,5	26	18	24	26	10	32	26	18	25
1,0	32	20	21	26	8	29	33	18	22
1,5	39	13	15	22	11	33	38	12	26

Во все месяцы, в слое до 1,5 км преобладают умеренный, сильный и очень сильный сдвиг ветра. Максимальная повторяемость сильного сдвига ветра приходится на декабрь, на всех высотах она составляет около 40 %. Чуть меньше опасных сдвигов ветра приходится на апрель, июль, сентябрь и ноябрь.

Выводы

В результате проведенных исследований скорости ветра в свободной атмосфере выявлено:

Средние скорости ветра в свободной атмосфере над анализируемой территорией за последние десятилетия, несколько уменьшились, особенно заметно в зимний сезон.

Максимальные скорости ветра наблюдаются в слое от поверхности земли до высоты 10—12 км. В январе максимальная скорость ветра, как правило, не превышает 40 м/с, а феврале и мае — 50 м/с. В остальные месяцы максимальные скорости ветра могут достигать 65—70 м/с.

По числу дней со скоростями ветра, превышающими критические значения, самыми спокойными можно назвать зимний и весенний сезоны, когда повторяемость дней с опасными скоростями составляет 20—25 %.

С учетом ветрового режима наиболее благоприятными месяцами для проведения пусков РКН являются январь, февраль и май, в которые повторяемость критических скоростей ветра (более 50 м/с) не превышает 25 % (7 дней в месяц).

Исследования направления при опасных значениях скорости ветра позволили обнаружить:

При организации пусков РКН особое внимание следует уделять изменениям направления в слое от земли до 1,5 км и в слоях 5—12 км.

В слое 0,5—1,5 км в течение летнего сезона преобладают критические по скорости ветры преимущественно СЗ направления, а во все другие сезоны года сильный ветер на этих высотах имеет ЮЗ направление.

В свободной атмосфере в течение всего года при наличии определенных условий формируются как сильные, так и очень сильные сдвиги ветра, опасные для пусков РКН. Наиболее опасным месяцем по этой характеристике является декабрь, несколько меньше опасных сдвигов ветра приходится на апрель, июль, сентябрь и ноябрь.

Максимальные сдвиги ветра наблюдаются в слое от поверхности земли до высоты 10—12 км.

При сравнении полученных результатов с данными справочника (Аэроклиматическое описание, 1984), в котором представлены характеристики ветра за период наблюдений с 1957—1981 гг., можно отметить, что повторяемость скоростей ветра превышающих 50 м/с уменьшилась примерно на 10 %, а порог в 60 м/с в последние годы достигается в два раза реже. Несколько выпадает из общей тенденции летний сезон, особенно август. В августе, согласно (Аэроклиматическое описание, 1984), скорости ветра 60—69 м/с не наблюдались. В период 1995—2014 гг. указанные скорости ветра наблюдаются в слое от 11 до 12 км, в среднем раз в десять дней.

Однако можно утверждать, что в настоящее время средние скорости ветра по сравнению с предыдущими десятилетиями над территорией космодрома «Байконур» в свободной атмосфере уменьшились.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аэроклиматическое описание аэродрома «Крайний». (1984). — Ленинск. С. 78—89.

Горбатенко В. П., Константинова Д. А. (2009). Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. Т. 22. № 1. С. 17–21.

Горбатенко В. П., Ипполитов И. И., Логинов С. В., Поднебесных Н. В., Харюткина Е. В. (2011). Роль циркуляционных факторов в потеплении климата Сибири. // Вестник Томского государственного университета. № 346. С. 174—180.

Журавлев Г. Г. (2001). Оценка ветро-энергетического потенциала Томской области. // Вестник Томского государственного университета. № 274. С. 141—147.

Золотухина О. И., Горбатенко В. П., Вареник П. А. (2015). Характеристики ветра в дни пусков ракет космического назначения на космодроме «Байконур». // Труды ГГО. Вып. № 576. С. 114—129.

Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Логинов С. В., Поднебесных Н. В., Харюткина Е. В., Горбатенко В. П. (2011). Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири. // Оптика атмосферы и океана. Т. 24. № 1. С. 15—21.

Кижнер Л. И., Серая Н. Ю. (2015). Изменение режима ветра в Томске в начале XXI века. // Труды ГГО. Вып. № 576. С. 102—114.

Лутфиев Х. Л. (1988). Вертикальные сдвиги ветра на территории Средней Азии. // Труды СЛШГШ. Вып. № 130. С. 63—65.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Выпуск 18. Казахская ССР. Книга 2. Части 1—6. (1989). — Л.: Гидрометеиздат. 440 с.

Петухова О. В., Золотухина О. И. (2014). Результаты изменчивости ветра в приземном слое атмосферы в районе территории космодрома «Восточный». // В сб. Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды. Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. Ответственный редактор Н.Ф. Харламова. — Барнаул: ООО «ТЛ Красный угол». С. 75—78.

Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанными с метеорологическими факторами. Методическое пособие. (2009). — М.: АНО «Метеоагентство Росгидромета». С. 51—53.

Чередниченко В. С. (1976). Максимальный ветер и ветер на полярной тропопause над территорией Казахстана. // Труды КазНИП/И. Вып. 57. С. 19—23.

Чередниченко В. С. (1992). Пути повышения эффективности метеорологического обеспечения полетов авиации (на примере Казахстана). // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук, специальность: 11.00.09. — М.: МГУ. 31 с.