Министерство образования и науки Российской Федерации НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Геолого-географический факультет Кафедра метеорологии и климатологии

ДОПУСТИТЬ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ГЭК

Руководитель ООП

канд. геол.-минер. наук, доцент, декан ГГФ

Т.М. Татьянин

05 2017 г.

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах подготовленной научно - квалификационной работы (диссертации)

АТМОСФЕРНЫЕ УСЛОВИЯ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ПУСКИ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РАЙОНЕ КОСМОДРОМОВ «БАЙКОНУР» И «ВОСТОЧНЫЙ»

по основной образовательной программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре направление подготовки – 05.06.01 Науки о Земле

> Научный руководитель д-р, геогр. наук, профессор В.П. Горбатенко «Дд» мая 2017 г.

Автор работы аспирант Золотухина Убрания № 30 година

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В условиях меняющегося климата вызывает интерес исследование многолетних тенденций всех климатических характеристик, как в глобальном, так и в региональном масштабах. Параметры ветра, в большей или меньшей степени, влияют на все сферы человеческой деятельности, включая работы по подготовке и пуску ракет космического назначения (РКН). параметров ветра, критичные для выполнения той технологической операции, отражены в эксплуатационной документации на каждую РКН. Значения метеорологических параметров близких к критическим, фиксируются 5-7 раз в год, однако перенос времени даже одного пуска РКН обеспечивает огромные финансовые потери. Анализ многолетних изменений параметров ветра на территории России показал, что скорость приземного ветра в течение 1936-2006 гг. почти на всей территории России имела тенденцию к уменьшению [1, 2]. В то же время динамика характеристик ветра в свободной атмосфере изучалась не столь активно [3-5]. Эксплуатационная документация на РКН ориентирована на повторяемость средних и максимальных характеристик ветра. Для исследуемых территорий эти характеристики определялись более 30 лет назад. На фоне наблюдающихся изменений климата характеристики ветра требуют уточнений.

Кроме параметров ветра, необходимо учитывать развитие в атмосфере опасных конвективных явлений погоды (гроза, ливневый дождь), которые могут оказать существенное влияние на ход выполнения работ с РКН: в период их подготовки на техническом комплексе, транспортировки на стартовый комплекс, подготовки на стартовом комплексе и во время пуска. В связи с этим, развитие конвекции и формирование опасных конвективных явлений погоды постоянно контролируют специалисты метеорологической службы космодромов для того, чтобы с максимальной заблаговременностью предупредить должностных лиц, которые руководят подготовкой и пуском РКН, для сведения к минимуму воздействия опасных явлений погоды на технические средства и специалистов, выполняющих работы. В связи с вышесказанным, изучение характеристик конвекции и опасных конвективных явлений погоды в районе космодромов является актуальным.

Цель работы – изучение особенностей многолетнего хода ветрового режима и развитой конвекции в районе космодромов «Байконур» и «Восточный» [6].

Задачи исследования:

- Определить характеристики ветра от поверхности земли до высоты 25 км в районе космодромов «Байконур» и «Восточный»;
- Выявить многолетние направленные тенденции характеристик ветра в разных слоях свободной атмосферы;
- Выявить многолетние направленные тенденции высоты и скорости ветра нижней границы полярной тропопаузы;
- Проанализировать многолетнюю изменчивость грозовой активности в районе космодромов;
- Определить значения термодинамических индексов неустойчивости атмосферы в дни с опасными конвективными явлениями и рассчитать статистические характеристики этих индексов в дни, когда наблюдается гроза, и в дни, когда грозы

нет, но все признаки наличия развитой конвекции (конвективные осадки) присутствуют.

■ Выделить месяцы наиболее благоприятные в метеорологическом отношении для пусков РКН с территории космодромов «Байконур» и «Восточный».

Объект исследования — слой атмосферы от поверхности земли до высоты 25 км над территориями космодромов «Байконур» (Казахстан, Кызыл-Ординская область) и «Восточный» (Россия, Амурская область).

Предмет исследования – характеристики ветра и неустойчивости атмосферы, ограничивающие пуски РКН.

Материал и методы исследования. Исходным материалом для исследования характеристик ветра у поверхности земли в районе космодромов «Байконур» и «Восточный» послужили материалы фактических наблюдений за периоды 1956–2013 гг. и 1985–2014 гг. соответственно. Для изучения характеристик ветра в свободной атмосфере до высоты 25 км применены уникальные данные аэрологического зондирования атмосферы на станции Байконур и данные станции Благовещенск за период 1985–2014 гг. Для изучения направленных тенденций характеристик ветра использованы данные реанализа NCEP/NCAR, с сеткой пространственного разрешения 2,5° х 2,5° для 17 стандартных уровней атмосферы до высоты 10 гПа с интервалом в 6 часов, начиная с 1 января 1948 г. по настоящее время. Для анализа метеорологических элементов в дни, когда пуски РКН переносились по метеорологическим условиям в районе космодрома «Байконур», отработан набор синоптического материала. Рабочим материалом для выявления особенностей грозовой активности в районе космодромов «Байконур» и «Восточный» послужили данные о числе гроз, систематизированные за период 1956–2013 гг. и 1985–2013 гг.

Выводы получены при использовании синоптических методов, пакетов прикладных программ MicrosoftOffice, Statistica, MatLab.

Научная новизна работы.

- Получены вертикальные профили средних значений скорости и направления ветра до высоты 25 км (с разрешением в один километр). Для территории космодромов получено, что скорость приземного ветра имеет тенденцию к уменьшению.
- Выявлены многолетние направленные тенденции в изменение скорости ветра в нескольких слоях верхней тропосферы и нижней стратосферы за последние 67 лет.
- Уточнена скорость ветра на уровне нижней границы полярной тропопаузы, а также ее высота в разные месяцы года в южном районе Казахстана.
- Определены соотношения зональной и меридиональной составляющих их скорости ветра в разные месяцы года и их многолетние изменения в районе космодромов.
- Определены динамика и структура рядов грозовой активности в районе космодромов.
- Определены пороговые значения индексов неустойчивости атмосферы, при которых в атмосфере Амурской области развиваются грозы [6].

Научная и практическая значимость работы. Получена картина вертикальной структуры и многолетней (за последние 67 лет) динамики

распределения скорости и направления ветра в слое от поверхности земли до высоты 25 км. Выделены месяцы наиболее благоприятные в метеорологическом отношении для пусков РКН. Уточнены климатологические характеристики на уровне максимального ветра и тропопаузы в районе космодрома «Байконур». Изучена структура и динамика грозовой активности над территориями космодромов, определены термодинамические характеристики атмосферы в дни с грозой, позволяющие идентифицировать очаги мезомасштабной конвекции, определяемые со спутников Тетга и Aqua.

Результаты работы могут быть применены при проектировании РКН, при планировании пусков РКН, а так же для определения зон мезомасштабной конвекции, полученных по данным спутников Тегга и Адиа. В частности, результаты работы могут быть использованы при разработке программно-алгоритмического обеспечения для проведения расчетов устойчивости возмущенного движения и управляемости ракет-носителей (РН) «Ангара – 1.2», «Ангара – А5», «Протон – М». Кроме того, результаты работы будут актуальны для расчетов устойчивости движения и управляемости РН при действии ветровых возмущений и послужат основой для статистического моделирования движения РН. О востребованности результатов исследования свидетельствуют сертификаты дипломы, полученные И Госкорпорации «Роскосмос».

Степень достоверности расчетов, представленных в работе, подтверждается большим объемом и качеством анализируемых данных наблюдений, корректным комплексным использованием современных методов и средств математического аппарата, оценками статистической значимости результатов, а так же их апробацией на различных конференциях и семинарах.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 9-ти российских и международных конференциях, а именно: XI Международной Школы молодых ученых им. А.Г. Колесника (Томск, 15–19.09.2014 г.); Всероссийской молодёжной научно-практической конференции «Космодром «Восточный» и перспективы развития российской космонавтики» (Углегорск–Благовещенск–Москва, 5–6.06.2015 г.); Международной конференции и школе молодых учёных по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды ENVIROMIS (Томск, 11–16.07.2016 г.); Всероссийской молодёжной научно-практической конференции «Орбита молодёжи» и перспективы развития российской космонавтики» (Самара, 8–9.09.2016 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 4 статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в постановке задачи, сборе и обработке материала, расчетах и анализе полученных результатов [6].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основе анализа вертикальных профилей скорости и направления ветра с разрешением в один километр, определены критические для пусков РКН характеристики ветра над территориями обоих космодромов (по высотам и

периодам формирования). Уточнены высоты и скорости воздушных потоков на уровнях полярной тропопаузы.

Для выявления особенностей изменения параметров ветра в свободной атмосфере в районе космодрома «Байконур» проведен анализ параметров ветра на различных высотах от поверхности земли до высоты 25 км по данным зондирования атмосферы на аэрологической станции Байконур. Расчёты и выводы представлены во второй главе. Кроме того, во второй главе более подробно представлена изменчивость характеристик и динамика параметров ветра у поверхности земли, а также характеристики ветра у поверхности земли и на высотах в дни переносов пусков РКН на космодроме «Байконур» по метеорологическим условиям. На рис. 1–4 представлены вертикальные профили средней и максимальной скоростей ветра в различные месяцы. Выявлены следующие особенности распределения характеристик ветра с высотой [6]:

- наибольшие средние и максимальные скорости зафиксированы на высотах от 8 до 12 км:
- средняя высота слоя с наибольшими средними и максимальными скоростями ветра постепенно увеличивается от зимы (8–10 км) к лету (13–15 км) и вновь уменьшается к зиме в соответствии с высотой тропопаузы. При этом, толщина таких слоев может достигать более 10 км в любое время года, кроме зимы, когда она редко достигает толщины даже в 5 км;
- максимальные скорости в течение всего года наблюдались на высоте 11 км и только в летний период на высотах 12–13 км (рис. 3 б);
- наибольшие значения средней скорости ветра в июле и в августе достигали 30 м/с и были приурочены к высотам 12–13 км (рисунок 3 a);
- для космодрома характерно наличие двух максимумов в ходе средней максимальной скорости ветра, основного в июле и вторичного в январе. Основной летний максимум обусловлен смещением в эти широты субтропического струйного течения (субтропическое струйное течение может смещаться до широты 45–50°). Второй максимум обусловлен общим усилением активности циркуляции в холодную часть года [3];
- наименьшие значения как средней, так и максимальной скоростей ветра регистрировались в приземном слое атмосферы во все сезоны года.

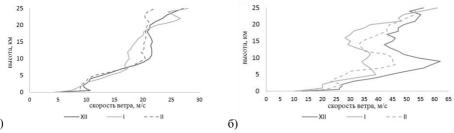


Рис. 1. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (δ) с высотой в зимний сезон



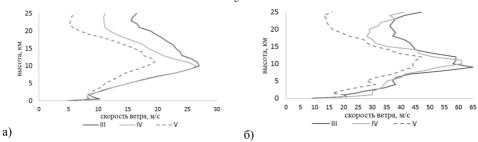


Рис. 2. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (δ) с высотой в весенний сезон

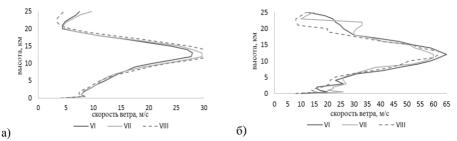


Рис.3. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (b) с высотой в летний сезон

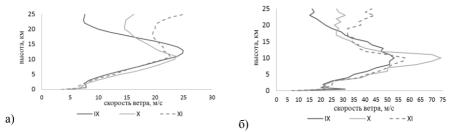


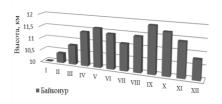
Рис. 4. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в осенний сезон

Рассмотрим повторяемость скоростей ветра по градациям (%) в слое 8–12 км. В январе максимальная скорость ветра не превышает 40 м/с, а феврале и мае меньше 50 м/с, во все остальные месяцы года, максимальные значения скорости ветра могут достигать порога 69 м/с. Максимальная повторяемость всех опасных по скорости ветра градаций в течение года наблюдается на высоте 11 км [6].

Рассмотрим преобладающее направление максимальной скорости ветра в слое 8—12 км по сезонам года: в зимний, весенний и осенний периоды преобладает ЮЗ ветер (53—60 %), СЗ направление составляет около 30 %; в летний период на высоте 9 км преобладает ЮЗ ветер (44,7 %), на высотах 8, 10, 11 и 12 км преобладает СЗ направление ветра (47,5 %). Таким образом, летом увеличивается вероятность наличия сдвигов ветра по направлению. 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.

Изучение климатологии тропопаузы, особенности ее строения в различных географических зонах Земли представляют научный интерес. Научные работы, связанные с изучением свойств и особенностей тропопаузы над территорией Казахстана проводились Чередниченко В.С. (1975 г.) [3, 4]. Исследования были выполнены по материалам температурно-ветрового зондирования на сети аэрологических станций Казахстана. Сравним среднее значение высоты и скорости полярной тропопаузы по месяцам и в целом за год в работах В.С. Чередниченко [3, 4] с результатами наших исследований (рис. 5–6). На рис. 5 представлены средние значения высоты полярной тропопаузы по месяцам и в целом за год. Полученный нами результат говорит о повышении высоты полярной тропопаузы за последние десятилетия в среднем на 370 м.



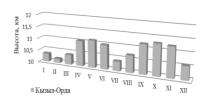
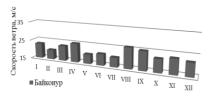
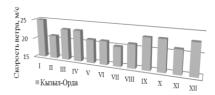


Рис. 5 — Годовой ход высоты полярной тропопаузы в районе космодрома «Байконур» (a) и станции Кызыл-Орда (δ)

Сравним скорости ветра на нижней границе полярной тропопаузы (рис. 6) по результатам работы [3] и результатам настоящих исследований. Средняя скорость ветра на нижней границе тропопаузы (в слое от 10 до 14 км) за последние десятилетия в среднем возросла на 1,4 м/с, что подтверждает положительный коэффициент многолетнего тренда скорости ветра в среднем 0,25 м/с/10 лет над территорией космодрома «Байконур» по данным реанализа.





a) 6)

Рис. 6 — Годовой ход скорости ветра полярной тропопаузы в районе космодрома «Байконур» (a) и станции Кызыл-Орда (δ)

Для выявления особенностей изменения ветра в свободной атмосфере в районе строящегося космодрома «Восточный» послужила информация о скорости ветра на высотах от поверхности земли до высоты 25 км по данным радиозондирования атмосферы аэрологической станции Благовещенск за период 1985—2014 гг. Все расчёты и выводы представлены в третьей главе. Кроме того, в третьей главе представлены выводы о характеристике и динамике ветра у поверхности земли.

На рис. 7–10 представлены результаты сравнений средних и максимальных значений скорости ветра в разные сезоны года. Выявлены следующие особенности распределения характеристик ветра с высотой [6]:

- наибольшие средние и максимальные скорости ветра зафиксированы на высотах от 7 до 14 км;
- по числу дней со скоростями ветра, превышающими критические значения, самыми спокойными являются летний и весенний сезоны. Средние скорости ветра в летние месяцы в слое от поверхности земли до 25 км не превышают 23 м/с;
- наибольшая средняя скорость ветра замечена в октябре на высоте 8–9 км и достигает 25 м/с:
 - максимальные скорости в течение всего года наблюдались на высоте 7–11 км.

Сравнивая повторяемость скоростей ветра по градациям в пределах высот (7–14 км), где были замечены наибольшие средние и максимальные скорости ветра, можно сказать, что для района космодрома «Восточный» месяцами с минимальной повторяемостью опасных скоростей ветра (6–9 %) являются июнь и июль, месяцы с высокой повторяемостью: февраль, октябрь и ноябрь (18–21%). Максимальная повторяемость всех опасных по скорости ветра градаций в течение года наблюдается на высоте 8 и 10 км. Если характеризовать сезоны года в целом, то в качестве относительно спокойного можно выделить летний сезон, повторяемость дней с опасными скоростями составляет 9 %.

Рассмотрим преобладающее направление максимальной скорости ветра в слое 7—14 км по сезонам года: в зимний и весенний периоды преобладает ветер СЗ направления (46—59 %), ЮЗ направление составляет около 30 %. В летний период на всей высоте рассматриваемого слоя преобладает ЮЗ ветер (40,2 %), СЗ направление ветра составляет 32,8 %. В осенний период процентное соотношение СЗ и ЮЗ ветров одинаково и составляет 44 %. В целом замечено, что опасные скорости ветра формируются в половине всех случаев на фоне северо-западного переноса.

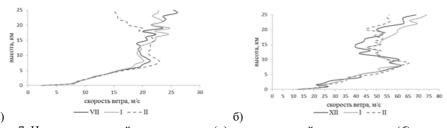


Рис. 7. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (δ) с высотой в зимний сезон



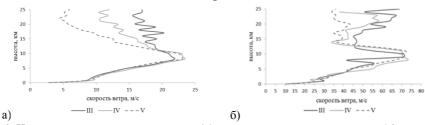


Рис. 8. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (b) с высотой в весенний сезон

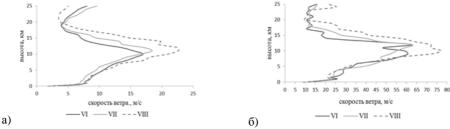


Рис. 9. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (b) с высотой в летний сезон

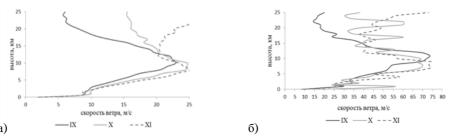


Рис. 10. Изменение средней скорости ветра (a) и максимальной скорости ветра (b) с высотой в осенний сезон

2. В период 1948–2014 гг. наблюдается увеличение скорости ветра в верхней тропосфере и нижней стратосфере над территориями обоих космодромов. При этом наблюдается усиление меридионального переноса в нижней тропосфере и зонального в верхней тропосфере и нижней стратосфере.

Полученную многолетнюю динамику характеристик ветра по данным аэрологического зондирования сравним с данными реанализа за период 1948–2014 гг. в двух точках: станция Байконур (45° 57′ 58″ N, 63° 18′ 28″ E) и Благовещенск (50° 15′ 28″ N, 127° 32′ 11″ E). С помощью реанализа NCEP/NCAR можно исследовать характеристики ветра не только над конкретной станцией, но и в районе станций [6].

В табл. 1 представлены среднесезонные значения скорости ветра и их среднее квадратическое отклонение (σ) по данным аэрологического зондирования и данным реанализа. Среднегодовые значения скорости ветра демонстрируют убедительное соответствие результатов аэрологического зондирования и данных реанализа. Из

общей картины над территорией космодрома «Байконур» выбивается весенний сезон (разница 1–3 м/с), над территорией космодрома «Восточный» зимний и весенний сезоны (разница 1–2 м/с). Среднее квадратическое отклонение данных реанализа в несколько раз меньше, чем данных аэрологического зондирования, что говорит о необходимости осторожного подхода к оценке вариативности данных при численном моделировании характеристик ветра [6].

Таблица 1 Средние значения скорости ветра и среднее квадратическое отклонение по аэрологическим данным (Б_а -«Байконур»; В_а-«Восточный») и данным реанализа (Б_р-«Байконур»; В_р-«Восточный») за период 1985–2014 гг.

Слой (км)	Средняя сезонная скорость ветра (м/с)/σ									
	Год		Зимний сезон		Весенний сезон		Летний сезон		Осенний сезон	
(RM)	Ба	Бр	Ба	Бр	Ба	Бр	Ба	Бр	Ба	Бр
0,5-2	9/4	8/0,6	9/5	8/0,7	8/4	8/0,5	7/4	7/0,6	8/4	7/0,6
7-10	18/10	19/1,3	18/11	19/2	20/11	18/2,2	17/9	18/2,6	21/9,5	19/2,3
10-14	23/11	23/1,9	20/8,6	21/2,3	23/11	20/2,8	27/16	27/4	22/10	23/3
14-20	16/6,5	15/1,5	20/9	20/3,5	15/7	13/2,2	12/5	10/1,5	17/5,5	16/2
	Ba	$\mathbf{B}_{\mathbf{p}}$	$\mathbf{B}_{\mathbf{a}}$	$\mathbf{B}_{\mathbf{p}}$	Ba	$\mathbf{B}_{\mathbf{p}}$	Ba	Bp	Ba	$\mathbf{B}_{\mathbf{p}}$
0,5-2	7/4	7/0,4	7/4	7/0,5	8/4	7/0,4	6/4	6/0,4	7/4	8/0,5
7-10	20/11	19/1,3	21/11	20/2,2	22/13	21/2,2	16/10	15/1,9	22/12	22/2,1
10-14	19/10	19/1,3	20/9	20/2,5	18/10	20/2,5	16/10	17/2,7	21/9	22/2,5
14-20	15/7	14/2,2	22/9	21/3,5	14/8	13/2,5	7/4	7/0,9	16/6	7/2

Анализ характеристик ветра (табл. 2), представленных по данным реанализа NCEP/NCAR за период 1948–2014 гг. свидетельствует, что скорость ветра над территорией космодрома «Байконур» в пограничном слое (0,5–2 км) меняется незначительно. В слое 10–20 км прослеживается статистически значимая тенденция увеличения скорости ветра (в среднем 0,2–0,5 м/с/10 лет).

Сравнивая с данными аэрологического зондирования, полученными для 23 станций европейско-азиатского севера России можно заметить, что для территории космодрома «Байконур» в слое около 1,5 км скорость ветра так же практически не меняется [2]. Более того, над космодромом «Байконур» в слоях около 5 и 9 км, как и в [2], наблюдается положительная статистически значимая тенденция к увеличению скорости ветра (в среднем на 0,2 м/с/10 лет). С середины 1970-х годов замечено усиление зонального переноса [7, 8], которое можно обнаружить и в данных реанализа, для территории космодрома «Байконур» в слое 10-20 км.

Анализ направления ветра (табл. 2) демонстрирует, что в слое 7-14 км преобладает западное (тренд составляет 0, 04 ‰/10 лет). В слое 14-20 км преобладание западных ветров сохраняется и составляет в среднем 0,15 ‰/10 лет. Полученные результаты подтверждают вывод об общем увеличении числа дней с западной составляющей ветра в верхней тропосфере и нижней стратосфере.

Таблица 2

Коэффициенты многолетних трендов скорости и направления ветра по данным реанализа космодрома «Байконур», за период 1948–2014 гг.

			V 1 /				
Слой	Коэффициенты многолетних трендов скорости ветра (м/с за 10 лет)						
Слои	Год	Зимний сезон	Весенний сезон	Летний сезон	Осенний сезон		
0,5-2	-0,01	0,01	0,1	-0,1	-0,04		
7-10	0,17	0,27	0 ,45	-0,03	-0,04		
10-14	0,26	0,4	0,53	0,11	-0,28		
14-20	0,5	0,48	0,54	-0,14	-0,02		
Преобладающее направление ветра и тренд							
			(‰ за 10 лет)				
0.5.2	BCB-3	В-ЗЮЗ	B-3	СВ	B-3		
0,5-2	0,01	-0,05	0,02	-0,14	-0,02		
7-10	3	3Ю3	3Ю3	3	3		
7-10	-	-	-	-	-		
10-14	3	3	3	3	3		
10-14	0,04	0,17	0,05	-	-		
14-20	3	3	3	3	3		
	0,12	0,43	0,12	-	-		

Примечание: полужирным курсивом выделены значения значимые с вероятностью не менее 95 %; знаком «-» показано отсутствие статистически значимых трендов.

Анализ скорости ветра (табл. 3) по данным реанализа NCEP/NCAR за период 1948–2014 гг. свидетельствует, что над территорией космодрома «Восточный» в пограничном слое (0,5–2 км) она меняется незначительно, так же как и для космодрома «Байконур» [6].

Таблица 3 Коэффициенты многолетних трендов скорости и направления ветра по данным реанализа космодром «Восточный», за период 1948–2014 гг.

	Pennannsa	постодроп «	Docto mbin,, sa	перпод 17 го 2				
C-25	Коэффициенты многолетних трендов скорости ветра (м/с за 10 лет)							
Слой	Год	Зимний сезон	Весенний сезон	Летний сезон	Осенний сезон			
0,5-2	0,02	-0,03	0,02	0,03	-0,02			
7-10	0,19	0,43	-0,4	-0,3	0,36			
10-14	0,09	0,37	-0,25	-0,4	0,29			
14-20	0,36	0,73	0,34	0,22	0,38			
	Преобладающее направление ветра и тренд(% за 10 лет)							
0.5.2	CC3	CC3	CC3	Ю	C3			
0,5-2	0,02	0,04	0,02	-0,16	0,07			
7.10	3	C33	3	3	3			
7-10	-0,08	_	-0,16	-0,18	_			
10.11	3	3C3	3	3Ю3	3			
10-14	-0,09	_	-0,1	-0,08	_			
11.00	3	3	3	3	3			
14-20	0,1	0,19	_	_	0,23			

Примечание: полужирным курсивом выделены значения значимые с вероятностью не менее 95 %; знаком «-» показано отсутствие статистически значимых трендов.

В слое около 3-5.5 км наблюдается статистически значимый тренд скорости ветра (0.1 м/c/10 лет). В слое 5.5-8 км скорость ветра не меняется, в слое около 9 км наблюдается положительный тренд скорости ветра, в слое 10-16 км скорость ветра постоянна и с 16 км вновь наблюдается повсеместно статистически значимая тенденция увеличения скорости ветра (0.4 м/c/10 лет). Сравнивая с результатами,

полученными для европейско-азиатского севера России можно заметить, что для слоя около 9 км в среднегодовых значениях, как и в [2] наблюдается положительная статистически значимая тенденция к увеличению скорости ветра (в среднем на 0,2 м/с/10 лет).

Анализ направления ветра демонстрирует (табл. 3), что в слое 7-14 км в среднем годовом масштабе преобладает западный ветер, но с отрицательным значимым трендом (-0,1%/10 лет). В нижней стратосфере (в слое 14-20 км) прослеживается тренд усиления ветров западного направления в среднем на 0, 15 %/10 лет (причем все значения трендов являются значимыми).

3. Определены характеристики грозовой активности и пороги неустойчивости атмосферы при грозах, позволяющие оценивать вероятность образования гроз и пространственное положение конвективных ячеек, продуцирующих грозу.

Исследования представлены в пятой главе. Над территорией космодрома «Байконур» грозы отмечаются не более 15 раз в году (рис. 11) и большой опасности для планирования пусков РКН не представляют. Территория космодрома «Восточный» расположена в климатических условиях, где опасные конвективные явления образуются гораздо чаще и улучшение методов их обнаружения и прогноза особенно актуально. Для выявления особенностей грозовой активности в районе космодрома «Байконур» послужили данные о числе гроз систематизированные за период с 1956 по 2013 годы включительно. Можно сказать что, в период с 1970–2013 гг. произошло заметное увеличение среднего за месяц числа дней с грозой (рис. 11 а). Так в период 2006–2013 гг. грозы отмечались в марте и декабре (в среднем 0,3 дня), чего не отмечалось ранее [6].

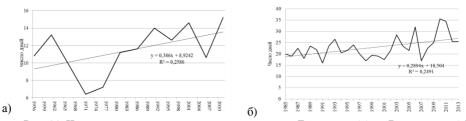


Рис. 11. Число дней с грозой в районе космодромов «Байконур» (a) и «Восточный» (δ)

Для выявления закономерностей повторяемости гроз в районе космодрома «Восточный» послужили данные метеостанции Благовещенск, где за рассматриваемый период отмечалось ежегодно в среднем 22 дня с грозой (7–8 дней с грозой за каждый месяц летнего периода). Изменчивость грозовой активности к концу исследуемого периода резко усилилась (рис. 11 б), однако тенденция роста статистически не значима с вероятностью 95 %.

Для описания степени развития конвекции были отобраны и рассчитаны индексы, наиболее часто используемые в исследованиях такого рода (табл. 4).

Группы индексов неустойчивости

Описание	Индексы	Формула
Индексы, характеризующие устойчивость атмосферы	Lifted index (LIFT)	$LIFT = T_{500} - T_{parcel2}$
Индексы, в которых кроме стратификации температуры,	Total Totals (TOTL)	$TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{850})$
присутствуют характеристики влажности	K-index (KIND)	$KIND = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700})$
Индексы, в которых кроме стратификации температуры, присутствуют характеристики влажности	Convective available potential energy (CAPE)	$CAPE = g \int_{LFCT}^{EQLV} dz * (Tp - Te) / Te$
Индексы, в которых кроме стратификации температуры, присутствуют характеристики влажности	Severe Weather ThrEAT index (SWEAT)	$SWEAT = 12TD_{850} + 20(TOTL - 49) + 3,888F_{850} + \\ 1,944F_{500} + (125[sin(D_{500} - D_{850}) + 0,2])$

В табл. 5 приведены статистические характеристики этих индексов, рассчитанные для дней, когда была зарегистрирована гроза и для дней, когда наблюдалась развитая конвекция с ливневыми осадками, но грозы не было [6].

Таблица 5 Статистические характеристики термодинамических индексов аэрологической станции Благовешенск при грозе и ливне

	«Гр	03a»	«Ливень»		
	Среднее σ		Среднее	σ	
LIFT, ℃	-1,6	2,4	-0,3	2,5	
SWEAT	199	71	171	60	
KIND, °C	32	5	30	5	
TOTL, ℃	49	4	47	4	
САРЕ, Дж/кг	577	642	350	522	

Результатом данного исследования, стали пороговые значения индексов, для различной вероятности ливней и гроз (табл. 6).

Таблица 6 Пороговые значения индексов для разной вероятности образования (%) ливней и гроз

Индекс	50%	70%	90%		
	Ливень				
LIFT	<-1	<-2	<-4		
SWEAT	>170	>200	>240		
KIND	>31	>33	>36		
TOTL	>48	>49	>52		
CAPE	>200	>400	>900		

	Гроза			
LIFT	<-3	<-4	<-6	
SWEAT	>190	>220	>280	
KIND	>32	>35	>37	
TOTL	>49	>51	>53	
CAPE	>350	>700	>1300	

Используя пороговые значения индексов можно заблаговременно определять пространственное положение и направление перемещения мощных конвективных ячеек по данным метеорологических спутников, оборудованных спектрорадиометром MODIS, как это отработанно для многих территорий, включая Западную Сибирь [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании особенностей ветрового режима и развитой конвекции в районе космодромов «Байконур» и «Восточный» получены климатические характеристики на фоне глобального изменения климата за последние десятилетия.

Сделаны следующие выводы:

- 1. Критические для пусков РКН характеристики ветра над территориями обоих космодромов наблюдаются в слоях 0,5–2 км и 7–14 км. Месяцы с высокой повторяемостью максимальных сдвигов ветра над Байконуром: декабрь и январь (41–46%), Восточным: февраль и ноябрь (57–60%).
 - 2. Скорость приземного ветра над обеими территориями уменьшается.
- 3. Над территорией космодрома «Байконур» замечено увеличение уровня полярной тропопаузы на 370 м за последние десятилетия. Средняя скорость ветра на уровне полярной тропопаузы увеличилась на 1,4 м/с.
- 4. Над территорией космодрома «Байконур» весной, осенью и зимой максимальные сдвиги ветра формируются при преобладании ЮЗ направлений (26–40 %). Летом опасные сдвиги могут сформироваться и при СЗ направлениях ветра (в 40 % случаев). В слоях с максимальной скоростью над территорией космодрома в летний период преобладает СЗ направление (47,5 %), в весенний, осенний и зимний периоды ЮЗ направление ветра (53–60 %).
- 5. Над территорией космодрома «Восточный» максимальные сдвиги ветра формируются на фоне СЗ направления во все сезоны года: в зимний период (63,8 %), в весенний период (45,7 %), в летний период (25,3 %), в осенний период (50,3 %). В слое с максимальными скоростями ветра преобладание СЗ и ЮЗ направлений над территорией космодрома одинаково (в зимний и весенний периоды ветер СЗ 46–59 %, ЮЗ составляет около 30 %.; в летний период ЮЗ ветер 40,2 %, СЗ составляет 32,8 %; в осенний период процентное соотношение СЗ и ЮЗ ветров одинаково и составляет 44 %).
- 6. Благоприятными месяцами для пусков ракет космического назначения над территорией космодрома «Байконур», учитывая все изученные характеристики ветра, являются: февраль, май и сентябрь. Для космодрома «Восточный»: июнь–август и сентябрь.

- 7. Прослеживается устойчивая динамика увеличения скорости ветра в верхней тропосфере и нижней стратосфере над территорией космодрома «Байконур» (на 0,5 м/с/10 лет) и «Восточный» (на 0,4 м/с/10 лет).
- 8. Над территориями космодромов «Байконур» и «Восточный» в нижней тропосфере прослеживается усиление меридионального переноса и увеличение зонального переноса в верхней тропосфере и нижней стратосфере.
- 9. Над территорией Кызыл-Ординской области (согласно данным ближайшей метеорологической станции к космодрому «Байконур») с конца 70-х годов XX века наблюдается устойчивое увеличение числа дней с грозой, достигающее к концу исследуемого периода 15 дней. Над территорией Амурской области в среднем наблюдается 22 дня с грозой, при этом к концу периода изменчивость грозовой активности увеличивается, и в отдельные сезоны может наблюдаться до 40 дней с грозой. Замечено наличие квазиципериодичности в рядах повторяемости гроз.
- 10. Определены пороговые значения индексов неустойчивости атмосферы для разной вероятности образования (%) гроз над территорией Амурской области.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

- 1. Горбатенко В.П. Термодинамические условия формирования мезомасштабной конвекции в атмосфере Западной Сибири / В.П. Горбатенко, Д.А. Константинова, **О.И. Золотухина**, Е.Л. Тунаев // Известия вузов. Физика. − 2011. − Том 54. № 11/3. С.148–156.
- 2. **Золотухина О.И.** Характеристики ветра в дни пусков ракет космического назначения на космодроме «Байконур» / О.И. Золотухина, В.П. Горбатенко, П.А. Вареник // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2015. N 26.6.6 С. 114-129.6
- 3. **Золотухина О.И**. Характеристики ветра в свободной атмосфере над территорией космодрома «Байконур» / О.И. Золотухина, В.П. Горбатенко, П.А. Вареник // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2015. N 578. С. 174—191.
- 4. Горбатенко В.П. Термодинамические условия образования опасных конвективных явлений в районе космодрома «Восточный» / В.П. Горбатенко, А.А. Громницкая, **О.И. Золотухина** // Вестник Томского государственного университета. -2015. -№ 400. С. 330-337.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет. 2014. 61 с.
- 2. Мещерская А.В. Изменение скорости ветра на севере России во второй половине XX 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.
- 3. Чередниченко В.С. Максимальный ветер и ветер на полярной тропопаузе над территорией Казахстана / В.С. Чередниченко // Труды КазНИП/И. 1976. № 57. С. 19-23.
- 4. Чередниченко В.С. 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. 1992. 31 с.

- 5. Лутфиев Х.Л. Вертикальные сдвиги ветра на территории Средней Азия / Х.Л. Лутфиев // Труды СЛШГШ. -1998. -№ 130. C. 63-65.
- 6. Золотухина О.И. Атмосферные условия, ограничивающие пуски ракет космического назначения в районе космодромов «Байконур» и «Восточный»: дис. канд. геогр. наук : 25.00.30 / Золотухина Ольга Ивановна. Томск, 2017. 153 с.
- 7. Переведенцев Ю.П. Особенности ветрового режима в Приволжском федеральном округе в последние десятилетия / Ю.П. Переведенцев, Т.Р. Аухадеев // Вестник Удмуртского университета. -2014. № 2. С. 112-121.
- 8. Переведенцев Ю.П. Динамика тропо-стратосферы и изменения современного климата / Ю.П. Переведенцев, К.. Шанталинский // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Том 1. С. 221-231.
- 9. Горбатенко В.П. Сравнение индексов неустойчивости атмосферы, восстанавливаемых по данным радиозондирования и спектрорадиометра MODIS в дни с грозами, над территорией Западной Сибири / В.П. Горбатенко, С.Ю. Кречетова, М.Ю. Беликова, О.Е. Нечепуренко // Метеорология и гидрология. − 2015. − № 5. − С. 10-18.

Уважаемый пользователь! Обращаем ваше вникание, что система «Антиплагиат» отвечает на вопрос, является ли тот или иной фрагмент текста заимствованным или нет. Ответ на вопрос, является ли заинствованный фрагмент именно плагиатом, а не законной цитатой, система оставляет на ваше усмотрение.

Отчет о проверке № 1

дата выгрузки: 02.06.2017 09:58:36 пользователь: <u>golot_oßsibmail.com</u> / ID: 4623967 отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» на сайте http://www.antiplagiat.ru

Информация о документе

№ документа: 2
Имя исходного файла: Научный доклад_Золотухина ОИ_ АТМОСФЕРНЫЕ УСЛОВИЯ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ПУСКИ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РАЙОНЕ КОСМОДРОМОВ БАЙКОНУР И ВОСТОЧНЫЙ.doox.
Размер текста: 452 кВ
Тип документа: Прочее
Символов в тексте: 33092
Слов в тексте: 4045
Число предложений: 168



Оригинальность: 88.66% Заимствования: 11.34% Цитирование: 0%

Информация об отчете

Дата: Отчет от 02.06.2017 09:58:36 - Последний готовый отчет Комментарии: не указано Оценка оригинальности: 88.66% Замистиолания: 11.34% Цитирование: 0%

Источники

Источник	Ссылка	Дата	Найдено в
[1] Скачать полнотекстовую версию	http://journals.tsu.ru	21.11.2016	Модуль поиска Интернет
[2] Thermodynamic conditions of hazardous convective phenomena at the Vostochny Cosmodrome Tomsk State University Journal. 2015. № 400. / Вестник Тонского государственного университета (Вестн. Тон. гос. ун-та)	http://journals.tsu.ru	21.11.2016	Модуль поиска Интернет
[3] Скачать диссертацию	http://psu.ru	01.12.2016	Модуль поиска Интернет
	[1] Скачать полнотекстовую версию [2] Thermodynamic conditions of hazardous convective phenomena at the Vostochny Cosmodrome Tomsk State University Journal. 2015. № 400. /	[1] Скачать полнотекстовую версию http://iournals.tsu.ru [2] Thermodynamic conditions of hazardous convective phenomena at the Vostochny Cosmodrome Tomsk State University Journal. 2015. № 400. / http://iournals.tsu.ru Вестник Томского государственного университета (Вестн. Том. гос. ун-та)	[1] Скачать полнотекстовую версию http://iournals.tsu.ru 21.11.2016 [2] Thermodynamic conditions of hazardous convective phenomena at the Vostochny Cosmodrome Tomsk State University Journal. 2015. № 400. / http://iournals.tsu.ru 21.11.2016 Вестник Томского государственного университета (Вестн. Том. гос. ун-та)