

На правах рукописи



Золотухина Ольга Ивановна

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

Специальность 25.00.30 – Метеорология, климатология,
агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Пермь – 2017

Работа выполнена на кафедре метеорологии и климатологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии геолого-географического факультета ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск)
Горбатенко Валентина Петровна

Официальные оппоненты: **Шерстюков Борис Георгиевич**
доктор географических наук, заведующий лабораторией исследования последствий изменения климата Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (г. Обнинск)

Шкляев Владимир Александрович
кандидат географических наук, доцент, профессор кафедры метеорологии и охраны атмосферы ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г. Пермь)

Ведущая организация: ФГБУ «Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт» (г. Новосибирск)

Защита состоится 22 июня 2017 г. в 15-30 на заседании диссертационного совета Д212.189.10 на базе ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, корп. 8, ауд. 215; e-mail: seg@psu.ru, факс (342) 239-63-54.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале научной библиотеки ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», автореферат размещен на сайте ПГНИУ www.psu.ru и на официальном сайте ВАК.

Автореферат разослан « » мая 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент

Т.А. Балина

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). Значения параметров ветра, критичные для выполнения той или иной 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.

Большой вклад в комплексный анализ характеристик ветра внесли: В.С. Чередниченко, А.В. Мещерская, Ю.П. Переведенцев и др.; в исследование гроз и условий их развития: А.А. Алексеева, А.А. Васильева, Р.А. Ягудин, Г.М. Виноградова, В.П. Горбатенко.

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

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 $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ 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.

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 Terra 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 Terra и Aqua. 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 и дипломы, полученные от 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» (Углергск–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.

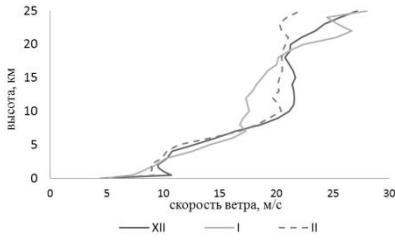
Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников, а так же приложений. Общий объем работы составляет 153 страницы, 42 рисунка, 29 таблиц и 9 приложений. Библиографический список включает 119 наименований, в том числе 14 иностранных. Обзор литературы представлен в первой главе.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

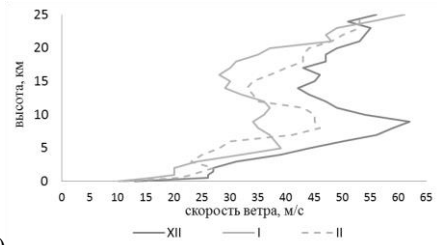
1. На основе анализа вертикальных профилей скорости и направления ветра с разрешением в один километр, определены критические для пусков РКН характеристики ветра над территориями обоих космодромов (по высотам и периодам формирования). Уточнены высоты и скорости воздушных потоков на уровнях полярной тропопаузы.

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:

- 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 а);
- 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.

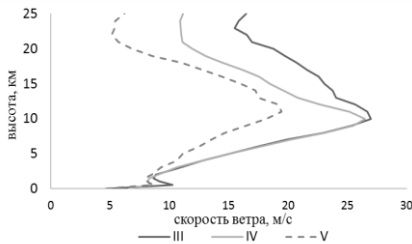


а)

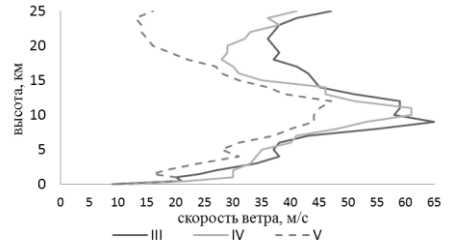


б)

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

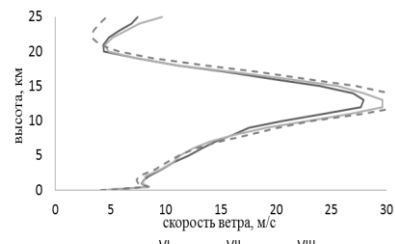


а)

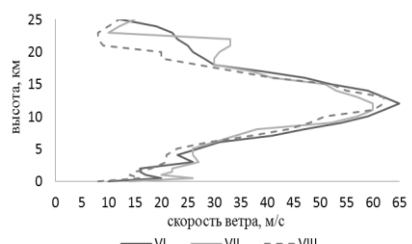


б)

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

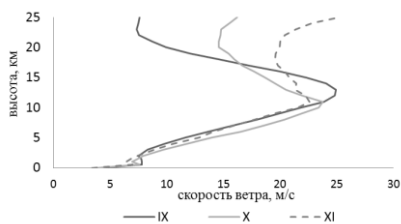


а)

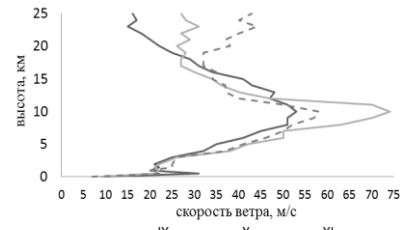


б)

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



а)



б)

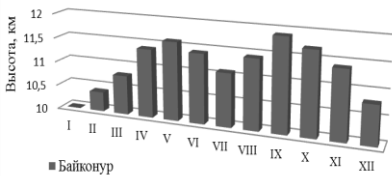
Рис. 4. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в осенний сезон

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.

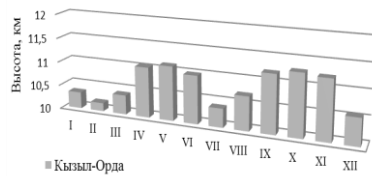
Рассмотрим преобладающее направление максимальной скорости ветра в слое 8–12 км по сезонам года: в зимний, весенний и осенний периоды преобладает ЮЗ ветер (53–60 %), СЗ направление составляет около 30 %; в летний период на высоте 9 км преобладает ЮЗ ветер (44,7 %), на высотах 8, 10, 11 и 12 км преобладает 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.



а)

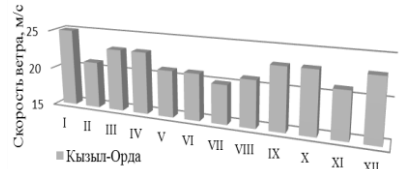
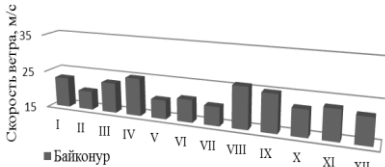


б)

Рис. 5 – Годовой ход высоты полярной тропопаузы в районе космодрома «Байконур» (а) и станции Кызыл-Орда (б)

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 (Глава 4). Средняя мощность слоя полярной тропопаузы по данным [3] в среднем за год составляем 1,61 км (зимой 1,44 км; весной 1,36 км; летом 3,36 км; осенью 1,28 км). Так как данные настоящего

исследования не позволяют использовать такой шаг, для рассмотрения изменения скорости ветра, округлим среднюю мощность слоя полярной тропопавузы до 2 км, и посмотрим, как изменяется средняя скорость ветра на 2 км выше и 2 км ниже от средней высоты полярной тропопавузы в районе космодрома «Байконур». В общем можно сказать, что в весенний и летний периоды скорость ветра выше (в слое находящимся на 2 км ниже уровня полярной тропопавузы), в осенний и зимний период наблюдается противоположная картина.



а)

б)

Рис. 6 – Годовой ход скорости ветра полярной тропопавузы в районе космодрома «Байконур» (а) и станции Кызыл-Орда (б)

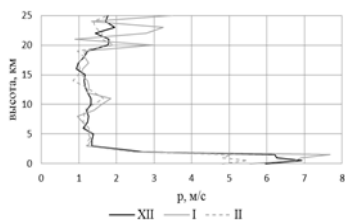
Помимо основных характеристик ветра (направление, скорость, порывы), огромное значение приобретает знание особенностей сдвига ветра в различных слоях атмосферы. Информацией, позволяющей выявить особенности сдвига ветра, послужили данные аэрологической станции Байконур. Материалы систематизировались за период 1985–2014 гг. Выбиралась информация о характеристиках ветра 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 (формула 1):

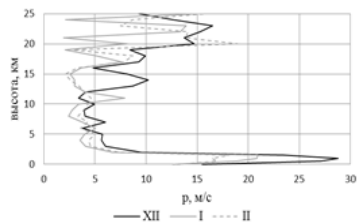
$$\rho = \frac{\Delta V}{\Delta z} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_1^2 - 2V_1 V_2 \cos \alpha}}{\Delta z}, \quad (1)$$

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 (метры).

На основе полученных данных об интенсивности сдвига ветра были рассчитаны его средние и максимальные значения за каждый месяц периода и построены графические зависимости распределения значений по высоте. Исходя из полученных результатов о средних и максимальных значениях сдвигов ветра, можно отметить следующее (рис. 7–10): слабые сдвиги ветра отмечались в слое 3–10 км и 12–20 км.

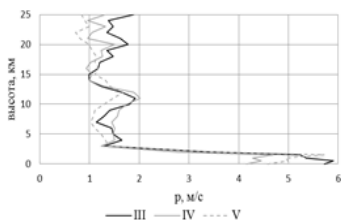


а)

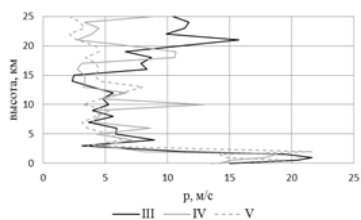


б)

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

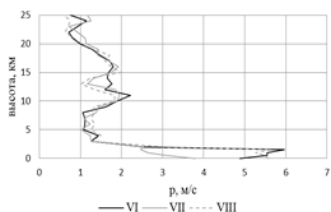


а)

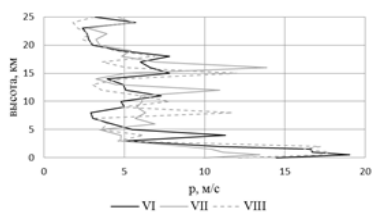


б)

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

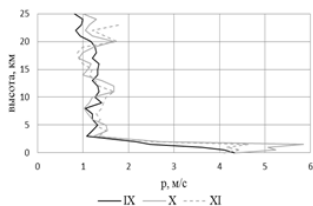


а)

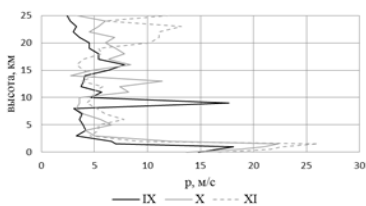


б)

Рис. 9. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах летом



а)



б)

Рис. 10. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах осенью

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 июле и сентябре).

В течение всего года были зарегистрированы дни, когда отмечались очень сильные сдвиги ветра. Можно выделить их следующие особенности:

- очень сильные сдвиги ветра отмечались на трех уровнях: до высоты 3 км, в слоях 10–12 км и 22–25 км;
- пики интенсивности очень сильных сдвигов ветра приходятся на месяцы: декабрь, январь, март, август и октябрь;
- наименьшее число дней очень сильных сдвигов ветра наблюдается в июле.

В целом замечено, что наибольшая интенсивность умеренных, сильных и очень сильных сдвигов ветра приходится на высоты до 1,5 км. Самым опасным месяцем по интенсивности сдвига ветра является декабрь, 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:

- в зимний период у земли преобладает ЮВ ветер (35 %), на высотах от 0,5 до 1,5 км ЮЗ (40 %).
- в весенний период на всех рассматриваемых высотах преобладает СВ направление ветра (34 %), далее ЮЗ (26 %), ЮВ (23 %).
- в летний период на всех рассматриваемых высотах преобладает СЗ направление ветра (40 %), СВ (29 %).
- в осенний период у поверхности земли преобладает СВ ветер (30 %), на высотах от 0,5 до 1,5 км ЮЗ направление ветра (35 %).

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.

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. 11–14 представлены результаты сравнений средних и максимальных значений скорости ветра в разные сезоны года. Выявлены следующие особенности распределения характеристик ветра с высотой:

- 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;

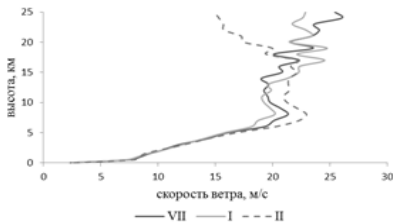
– наибольшая средняя скорость ветра замечена в октябре на высоте 8–9 км и достигает 25 м/с;

– максимальные скорости в течение всего года наблюдались на высоте 7–11 км;

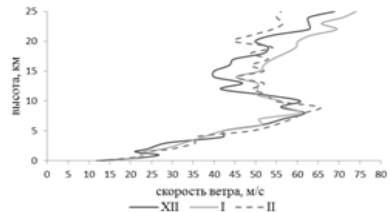
– наименьшие значения как средней, так и максимальной скоростей ветра регистрировались в приземном слое атмосферы во все сезоны года.

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.

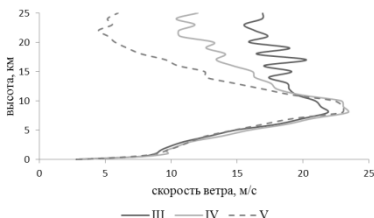


а)

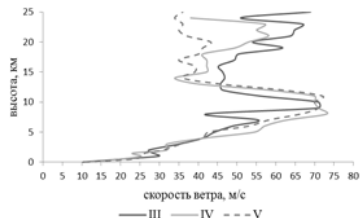


б)

Рис. 11. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в зимний сезон

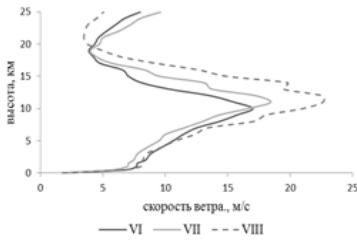


а)

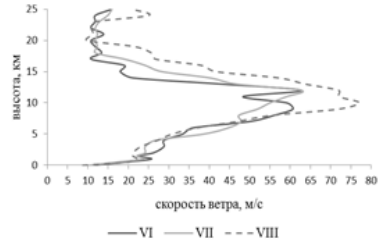


б)

Рис. 12. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в весенний сезон

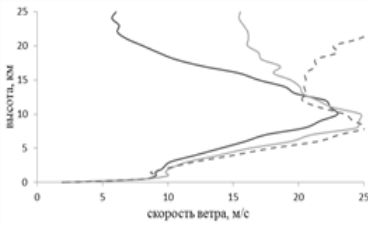


а)

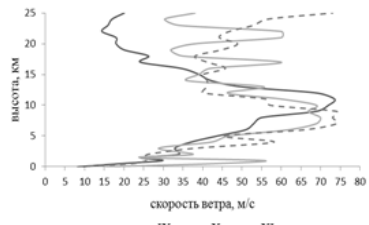


б)

Рис. 13. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в летний сезон



а)



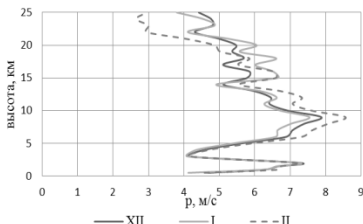
б)

Рис. 14. Изменение средней скорости ветра (а) и максимальной скорости ветра (б) с высотой в осенний сезон

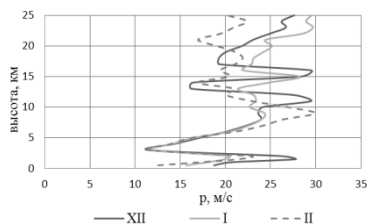
Информацией, выявляющей особенности сдвига ветра в районе исследования, послужили данные аэрологической станции Благовещенск. Материалы систематизировались за срок 00 ч ВСВ за период 1985–2014 гг. Выбиралась информация о характеристиках ветра (скорость, направление) по слоям атмосферы до высоты 25 км. Отметим следующее:

- слабые и умеренные сдвиги ветра отмечались в слоях от 3 до 5 км и от 15 до 20 км. Наибольшее число дней со слабыми и умеренными сдвигами ветра приходится на летний период (рис. 15–18);

- максимальное число сильных и очень сильных сдвигов ветра зарегистрировано в слоях 0,5–2 км и 8–12 км;

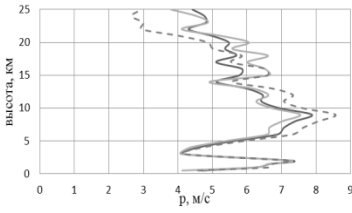


а)

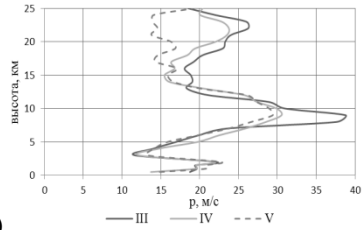


б)

Рис. 15. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах в зимний сезон

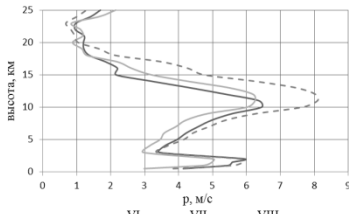


а)

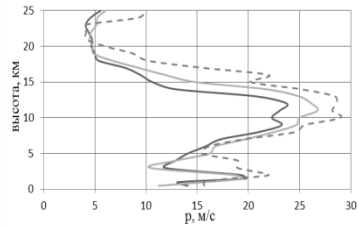


б)

Рис. 16. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах в весенний сезон

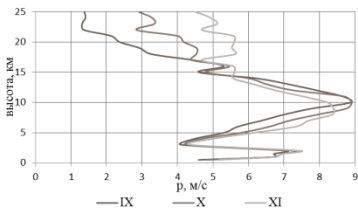


а)

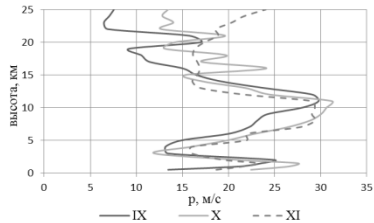


б)

Рис. 17. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах в летний сезон



а)



б)

Рис. 18. Распределение интенсивности среднего (а) и максимального (б) сдвигов ветра на высотах в осенний сезон

— пики интенсивности очень сильных сдвигов ветра приходятся на месяцы: декабрь, февраль, апрель, август, октябрь и ноябрь, наименьшее число дней наблюдается в июле.

В слое с максимальным сдвигом ветра (0,5–2 км) в течение всего года преобладают ветры СЗ направлений: в зимний период (63,8 %), в весенний период (45,7 %), в летний период (25,3 %), в осенний период (50,3 %).

Рассмотрев повторяемость значений сдвига ветра по градациям (%) на высотах с наибольшими значениями сдвига ветра (0,5–2 км), можно сказать, что во все месяцы в слое от земли до 2 км преобладает умеренный, сильный и очень сильный сдвиг ветра. Максимальная повторяемость сильного сдвига ветра приходится на февраль и ноябрь, на всех высотах она равна примерно 57–60 %. Несколько меньше опасных сдвигов ветра приходится на декабрь, апрель и октябрь.

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.

Исследования представлены в четвертой главе. 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.

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. Сравнение средних значений по критерию Пирсона статистически значимых расхождений не обнаружило. Следовательно, можно ожидать, что данные реанализа NCEP/NCAR позволяют выявить наличие или отсутствие долговременных тенденций в характеристиках ветра над исследуемыми районами.

Таблица 1

Средние значения скорости ветра и среднее квадратическое отклонение по аэрологическим данным (B_a – «Байконур»; B_v – «Восточный») и данным реанализа (B_p – «Байконур»; B_{rp} – «Восточный») за период 1985–2014 гг.

Слой (км)	Средняя сезонная скорость ветра (м/с)/ σ									
	Год		Зимний сезон		Весенний сезон		Летний сезон		Осенний сезон	
	B_a	B_p	B_a	B_p	B_a	B_p	B_a	B_p	B_a	B_p
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
	B_a	B_p	B_a	B_p	B_a	B_p	B_a	B_p	B_a	B_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 [6, 7], которое можно обнаружить и в данных реанализа, для территории космодрома «Байконур» в слое 10-20 км.

Таблица 2

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

Слой	Коэффициенты многолетних трендов скорости ветра (м/с за 10 лет)				
	Год	Зимний сезон	Весенний сезон	Летний сезон	Осенний сезон
0,5-2	-0,01	0,01	<i>0,1</i>	<i>-0,1</i>	-0,04
7-10	0,17	0,27	<i>0,45</i>	-0,03	-0,04
10-14	<i>0,26</i>	<i>0,4</i>	<i>0,53</i>	0,11	-0,28
14-20	<i>0,5</i>	<i>0,48</i>	<i>0,54</i>	<i>-0,14</i>	-0,02
Преобладающее направление ветра и тренд (% за 10 лет)					
0,5-2	BCB-3 0,01	B-ЗЮЗ <i>-0,05</i>	B-3 0,02	CB <i>-0,14</i>	B-3 <i>-0,02</i>
7-10	З -	ЗЮЗ -	ЗЮЗ -	З -	З -
10-14	З <i>0,04</i>	З <i>0,17</i>	З <i>0,05</i>	З -	З -
14-20	З <i>0,12</i>	З <i>0,43</i>	З <i>0,12</i>	З -	З -
<i>Примечание: полужирным курсивом выделены значения значимые с вероятностью не менее 95 %; знаком «-» показано отсутствие статистически значимых трендов.</i>					

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.

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». В слое около 3–5,5 км наблюдается статистически значимый тренд скорости ветра (0,1 м/с/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/с/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).

Таблица 3

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

Слой	Коэффициенты многолетних трендов скорости ветра (м/с за 10 лет)				
	Год	Зимний сезон	Весенний сезон	Летний сезон	Осенний сезон
0,5-2	0,02	<i>-0,03</i>	0,02	0,03	<i>-0,02</i>
7-10	<i>0,19</i>	<i>0,43</i>	-0,4	-0,3	<i>0,36</i>
10-14	0,09	<i>0,37</i>	-0,25	<i>-0,4</i>	<i>0,29</i>
14-20	<i>0,36</i>	<i>0,73</i>	<i>0,34</i>	0,22	<i>0,38</i>
Преобладающее направление ветра и тренд(‰ за 10 лет)					
0,5-2	ССЗ <i>0,02</i>	ССЗ 0,04	ССЗ 0,02	Ю <i>-0,16</i>	СЗ <i>0,07</i>
7-10	3 <i>-0,08</i>	СЗЗ —	3 <i>-0,16</i>	3 <i>-0,18</i>	3 —
10-14	3 <i>-0,09</i>	ЗСЗ —	3 <i>-0,1</i>	ЗЮЗ <i>-0,08</i>	3 —
14-20	3 <i>0,1</i>	3 <i>0,19</i>	3 —	3 —	3 <i>0,23</i>
<i>Примечание: полужирным курсивом выделены значения значимые с вероятностью не менее 95 %; знаком «-» показано отсутствие статистически значимых трендов.</i>					

В районе космодрома «Восточный» 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).

Сравним соотношение меридиональной и зональной составляющих в районе космодромов «Байконур» и «Восточный» на изобарических поверхностях 850 гПа и 500 гПа по сезонам (табл. 4) [8]. Над территорией космодрома «Байконур» в нижней тропосфере фиксируется положительный значимый тренд увеличения ЮЗ переноса, а над территорией космодрома «Восточный» С и СЗ направлений ветра. В результате проведенных сравнений, можно сказать, что над территорией космодромов «Байконур» и «Восточный» в нижней тропосфере прослеживается усиление межширотного обмена.

Таблица 4

Коэффициенты многолетних трендов по данным реанализа для территорий космодромов «Байконур» и «Восточный» за период 1948–2014 гг.

Уровни (гПа)	Зима	Весна	Лето	Осень
	Преобладающее направление ветра и тренд (% за 10 лет)			
«Байконур»				
850	ЮЗ (0,06)	ЮЗ (<i>0,1</i>)	З (<i>0,09</i>)	ЮЗ (<i>0,08</i>)
500	СЗ (<i>0,05</i>)	ЮЗ (<i>0,07</i>)	З (0,06)	ЮЗ (<i>0,06</i>)
«Восточный»				
850	СЗ (<i>0,2</i>)	С (<i>0,05</i>)	ССВ (<i>0,1</i>)	СЗ (<i>0,08</i>)
500	СЗЗ (0,05)	С (<i>0,05</i>)	ССЗ (<i>0,11</i>)	ССЗ (0,05)
Примечание: полужирным курсивом выделены значения значимые с вероятностью не менее 95 %.				

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. 19) 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. 19 а). Так в период 2006–2013 гг. грозы отмечались в марте и декабре (в среднем 0,3 дня), чего не отмечалось ранее.

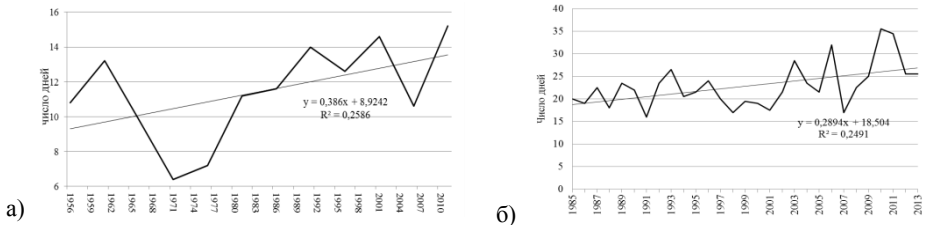


Рис. 19. Число дней с грозой в районе космодромов «Байконур» (а) и «Восточный» (б)

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.19 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. 5).

Таблица 5

Группы индексов неустойчивости

Описание	Индексы	Формула
Индексы, характеризующие устойчивость атмосферы	Lifted index (LIFT)	$LIFT = T_{500} - T_{parcel2}$
Индексы, в которых кроме стратификации температуры, присутствуют характеристики влажности	Total Totals (TOTL)	$TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{850})$
	K-index (KIND)	$KIND = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700})$

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

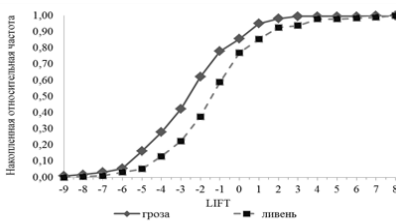
В табл. 6 приведены статистические характеристики этих индексов, рассчитанные для дней, когда была зарегистрирована гроза и для дней, когда наблюдалась развитая конвекция с ливневыми осадками, но грозы не было.

Таблица 6

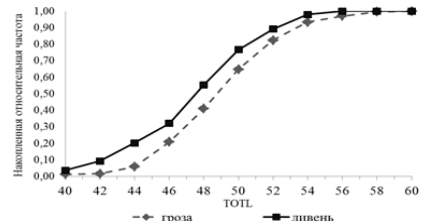
Статистические характеристики термодинамических индексов аэрологической станции Благовещенск при грозе и ливне

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

Средние значения всех индексов при грозе и при ее отсутствии заметно отличаются. Кумулятивная кривая (рис. 20) дает наглядное представление, как меняется накопленная относительная частота ливней и гроз при изменении индексов LIFT и TOTL.



а)



б)

Рис. 20. Кумулятивная кривая за срок 12 ч ВСВ индекс LIFT (а) и индекса TOTL (б)

Результатом данного исследования, стали пороговые значения индексов, для различной вероятности ливней и гроз (табл. 7).

**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 спектро радиометром MODIS, как это отработано 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 квазициперiodичности 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. – № 576. С. 114–129.

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. – № 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.

Публикации в других научных изданиях:

5. Петухова О.В. Характеристики опасных явлений погоды в районе космодрома «Восточный» / О.В. Петухова, А.А. Громницкая, **О.И. Золотухина** // Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды: Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул: Изд-во ТЛ Красный угол, 2014. – С. 72–75.

6. Петухова О.В. Результаты изменчивости ветра в приземном слое атмосферы в районе территории космодрома «Восточный» / О.В. Петухова, **О.И. Золотухина** // Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды: Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул: Изд-во ТЛ Красный угол, 2014. – С. 75–78.

7. **Золотухина О.И.** Характеристики опасных явлений погоды в районе космодрома «Восточный» / О.И. Золотухина, О.В. Петухова, А.А. Громницкая // Материалы III международной научно-практической конференции с элементами школы-семинара для студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Новые Печатные Технологии, 2014. – С. 532–535.

8. **Золотухина О.И.** Характеристики конвекции в районе космодрома «Восточный» в дни с грозой / О.И. Золотухина, О.В. Петухова, А.А. Громницкая // Материалы XI Международной Школы молодых ученых им. А.Г. Колесника. – Томск: Изд-во ТМЛ-Пресс, 2014. – С. 70–73.

9. **Золотухина О.И.** Характеристики опасных конвективных явлений погоды в районе космодрома «Восточный» / О.И. Золотухина, О.В. Петухова, А.А. Громницкая // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбурской Высокогорной комплексной экспедиции АН СССР Нальчик. – 2014. – С. 257–261.

10. Громницкая А.А. Термодинамические характеристики атмосферы в районе космодрома «Восточный» в дни с опасными конвективными явлениями / А.А. Громницкая, **О.И. Золотухина** // Международная конференция молодых ученых «Изменения климата и природной среды Северной Евразии: анализ прогноз, адаптация». Сборник тезисов докладов. – М.: ГЕОС, 2014. – С. 73–75.

11. **Золотухина О.И.** Характеристики опасных конвективных явлений в районе космодрома «Байконур» и «Восточный» / О.И. Золотухина, А.А. Громницкая, Н.Т. Дарибаева // «Климатология и гляциология Сибири»: Материалы Международной научной конференция. Томск, 2015. – С. 56–59.

12. **Золотухина О.И.** Характеристики ветра в свободной атмосфере на космодроме «Байконур» / О.И. Золотухина, О.В. Петухова // «Климатология и гляциология Сибири»: материалы Международной научной конференция. Томск, 2015. – С. 59–62.

13. **Золотухина О.И.** Разработка методических основ анализа и обработки метеорологической информации в интересах космодрома «Восточный» / О.И. Золотухина, В.П. Горбатенко, П.А. Вареник // Всероссийская молодёжная научно-практическая конференция «Космодром «Восточный» и перспективы развития российской космонавтики» Тезисы докладов. – Углергorsk – Благовещенск – Москва, 2015. – С.167–169.

14. **Золотухина О.И.** Тенденции ветрового режима над территорией космодрома «Восточный» / О.И. Золотухина, С.Ю. Золотов, В.П. Горбатенко // Международная конференция и школа молодых учёных по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды ENVIROMIS 2016: Избранные труды. – Томск, 2016. – С.25–29.

15. **Золотухина О.И.** Скорость ветра в свободной атмосфере над территорией космодрома «Восточный» / О.И. Золотухина // Международная конференция и школа молодых учёных по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды ENVIROMIS 2016: Избранные труды. – Томск, 2016. – С.48–52.

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 тропопause 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 Азии / Х.Л. Лутфиев // Труды СЛШГШ. – 1998. – № 130. – С. 63-65.

6. 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.

7. 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.

8. Горбатенко В.П. Интегральные характеристики ветра в тропосфере над Западной Сибирью / В.П. Горбатенко, И.И. Ипполитов, Е.А. Дюкарев, Н.В. Поднебесных // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Материалы совещания / Под ред. М. В. Кабанова. – Томск. – 2005. – С.12-16.

9. Горбатенко В.П. Сравнение индексов неустойчивости атмосферы, восстанавливаемых по данным радиозондирования и спектро радиометра 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.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

ВВЕДЕНИЕ

1 ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИЕ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ПУСКОВ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1.1 Ветер

1.1.1 Общая характеристика ветра. Методические аспекты обработки информации

1.1.2 Общая характеристика ветра в свободной атмосфере. Методические аспекты обработки информации

1.1.3 Изучение ветра на территории России

1.2 Опасные конвективные явления

1.2.1 Физические условия развития, стадии и размеры конвективных облаков

1.2.2 Явления, связанные с конвективной облачностью. Ливневые осадки и грозы

1.2.3 Изучение условий образования опасных конвективных явлений

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА В РАЙОНЕ КОСМОДРОМА «БАЙКОНУР»

2.1 Характеристики ветра у поверхности земли

2.2 Характеристики ветра в свободной атмосфере

2.3 Тропопауза

2.4 Характеристики сдвига ветра

2.4.1 Понятие о сдвиге ветра. Условия образования сдвига ветра

2.4.2 Методы расчета сдвига ветра

2.4.3 Характеристики сдвига ветра в районе космодрома «Байконур»

2.5 Характеристики ветра в дни переноса пусков ракет космического назначения

3 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА В РАЙОНЕ КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»

3.1 Характеристики ветра у поверхности земли

3.2 Характеристики ветра в свободной атмосфере

3.3 Характеристики сдвига ветра

4 ТЕНДЕНЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРА НАД РАЙОНАМИ КОСМОДРОМОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

4.1 Реанализ NCEP/NCAR

4.2 Сравнение данных аэрологического зондирования и данных реанализа NCEP/NCAR

4.3 Тенденции скорости и направления ветра по данным реанализа NCEP/NCAR за период 1948-2014 гг.

4.3.1 Космодром «Байконур»

4.3.2 Космодром «Восточный»

4.3.3 Характеристика зонального и меридионального переносов, над территориями космодромов в нижней тропосфере

5 ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНВЕКЦИИ В РАЙОНЕ КОСМОДРОМОВ

5.1 Динамика грозовой активности в районе космодромов «Байконур» и «Восточный»

5.1.1 Космодром «Байконур»

5.1.2 Космодром «Восточный»

5.2 Индексы неустойчивости атмосферы

5.2.1 Индексы, описывающие конвективное состояние атмосферы

5.2.2 Анализ термодинамических индексов атмосферы

5.2.3 Состояние атмосферы в дни с опасными конвективными явлениями

5.2.4 Пороговые значения индексов в дни «ливень» и «гроза»

5.3 Дискриминантный анализ индексов неустойчивости атмосферы для разделения состояния атмосферы «ливень» и «гроза» над территорией Амурской области

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ