

На правах рукописи



Акперов Мирсеид Габиль оглы

Анализ современных режимов внетропических циклонов в тропосфере Северного полушария и тенденций их изменения по данным реанализа и модельным расчетам

Специальность 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Научный руководитель:

член-корр. РАН, доктор физико-математических наук

Мохов Игорь Иванович

Официальные оппоненты:

член-корр. РАН, доктор физико-математических наук

Гулев Сергей Константинович

доктор физико-математических наук

Курганский Михаил Васильевич

Ведущая организация:

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

Защита диссертации состоится "16" февраля 2012 г. в 14:00 на заседании Диссертационного совета Д 002.096.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (119017, Москва, Пыжевский пер., д.3).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

Автореферат разослан " " января 2012 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 002.096.01

кандидат географических наук



Краснокутская Л.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

В земной атмосфере наблюдается большое разнообразие волновых и вихревых движений. Особый интерес представляют вихри синоптического масштаба, циклоны и антициклоны, в атмосфере внетропических широт. Внетропические циклоны и антициклоны играют важную роль в формировании регионального климата и его изменений.

В последние десятилетия (IPCC, 2007) отмечены значительные изменения глобальной приповерхностной температуры, с которыми связаны изменения режимов циклонических вихрей синоптического масштаба, в том числе их количества, времени жизни, интенсивности и размеров.

Работ, посвященных исследованию циклонической активности и ее изменений в атмосфере внетропических широт много, с широким спектром полученных результатов. При этом актуален анализ общих закономерностей в связи с глобальными климатическими изменениями с оценкой роли различных механизмов и обратных связей в формировании тенденций изменения режимов внетропических циклонов.

Целью данной работы является разносторонний анализ изменений параметров внетропических циклонов в атмосфере Северного полушария (СП) при изменении температурного режима - с использованием разных данных реанализа и модельных расчетов разной степени детальности, со сравнением различных методов детектирования циклонов.

Для достижения поставленной цели в диссертации ставились следующие **задачи**:

1. Провести сравнение характеристик внетропических циклонов СП с

использованием разных методов идентификации и разных данных реанализа с различным пространственным разрешением (NCEP/NCAR, ERA-40, ERA-INTERIM).

2. Количественно оценить параметры чувствительности характеристик внетропических циклонов к изменению температурного режима СП на основе данных реанализа и модельных расчетов.

3. Получить оценки роли различных факторов в формировании изменений характеристик внетропических циклонов при изменении температурного режима СП на основе данных реанализа и модельных расчетов.

4. Провести разносторонний анализ изменений различных характеристик внетропических циклонов при возможных изменениях климата в XXI в. с учетом антропогенных воздействий.

Научная новизна и основные результаты работы:

1. На основе проведенного сравнительного анализа при общем соответствии характеристик внетропических циклонов СП, полученных с использованием разных методов и данных с различным временным и пространственным разрешением, отмечены количественные различия в зависимости от минимальной интенсивности детектируемых вихрей.

2. На основе современных данных и модельных расчетов получены количественные оценки параметров чувствительности количества, размеров и плотности упаковки на сфере внетропических циклонов СП к изменению температурного режима в атмосфере СП.

3. Количественно оценены изменения различных характеристик внетропических циклонов СП, в том числе их количества, интенсивности, длительности, размеров, степени их упаковки на сфере и общего действия, по расчетам с климатическими моделями при возможных изменениях климата в XXI в. с учетом антропогенных воздействий.

Научная и практическая значимость результатов:

1. Результаты могут быть использованы для диагностики тенденций региональных и глобальных климатических изменений.
2. Результаты могут быть использованы при валидации глобальных климатических моделей.

Личный вклад автора:

Автор принимал участие во всех этапах работы, в том числе в формулировке задач и интерпретации полученных результатов. Основные результаты диссертационной работы получены автором лично. Автором были проведены все расчеты, связанные с анализом используемых данных наблюдений и модельных результатов.

Апробация работы и публикации:

Результаты диссертации были представлены на семинарах Лаборатории теории климата и Отдела климатических исследований ИФА им. А.М. Обухова РАН, Лаборатории метеорологической метеорологии НЦНИ (Париж, Франция, 2008, 2009), Департамента почвы, окружающей среды и атмосферных наук Университета Миссури (Колумбия, США, 2009, 2010), на Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности (Москва, 2007), в отчетном годовом докладе Президента РАН (Москва, 2007), на ежегодных Всероссийских конференциях молодых ученых “Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы” (Звенигород, Нижний Новгород, Борок, 2006-2010 гг.), на Генеральных ассамблеях Европейского геофизического союза (Вена, Австрия, 2010, 2011), на Европейской конференции IMILAST (Интерлакен, Швейцария, 2011).

Результаты диссертации опубликованы в 17 работах, в том числе в 8 – входящих в список Высшей аттестационной комиссии.

Структура и объем диссертации:

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Рукопись содержит 109 страниц, 33 рисунка, 8 таблиц, список литературы из 110 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, перечислены основные этапы исследования и результаты.

Глава 1 посвящена сравнению характеристик внетропических циклонов СП с использованием разных методов идентификации циклонов и разных данных реанализа (NCEP/NCAR, ERA-40, ERA-INTERIM). Проведено сравнение различных характеристик внетропических циклонов, полученных на основе трех методов идентификации для Северного полушария (20-80° с.ш.) по 60-летним данным реанализа для полей приповерхностного атмосферного давления. В том числе, проведен анализ количества циклонов, их интенсивности, размеров и времени жизни. Сделаны оценки влияния орографических эффектов при идентификации циклонов и их траекторий. Сопоставлены характеристики внетропических циклонов при использовании разных данных реанализа (NCEP/NCAR, ERA-40 и ERA-INTERIM) с различным пространственным разрешением (табл. 1.1).

Данные реанализа	Период (месяц/год)	Временное разрешение (часы)	Пространственное разрешение
NCEP/NCAR	01/1948-06/2009	6	2.5 ⁰ x 2.5 ⁰
ERA-40	09/1957-08/2002	6	2.5 ⁰ x 2.5 ⁰
ERA-INTERIM	01/1989-04/2009	6	1.5 ⁰ x 1.5 ⁰

Таблица 1.1. Характеристики используемых данных.

В разделе 1.1 описываются методы идентификации внетропических циклонов, а также используемые реанализы (NCEP/NCAR, ERA-40 и ERA-INTERIM) для полей приповерхностного атмосферного давления с различным пространственным и спектральным разрешением.

Используются следующие методы идентификации циклонов:

Метод I (далее I) описан в (Бардин и Полонский, 2005; Акперов и др., 2007). Этот метод, как и большинство методов, основан на стандартном выделении циклона, как области пониженного давления, ограниченной замкнутыми изобарами. В данной работе использовалась модифицированная версия метода I (Акперов и Мохов, 2010).

Алгоритм метода II идентификации циклонов и их траекторий описан в (Gulev et al., 2001). Рассматриваются лишь те циклоны, значения давления в центре которых не более 1015 гПа и время жизни не менее 24 ч. В траекторию объединялись два ближайших циклона в последовательные моменты времени (при шаге по времени 6 часов) с расстоянием между их центрами менее 10° .

Метод III описан в (Serreze et al., 1997). Каждый циклон идентифицируется как область пониженного давления с замкнутыми изобарами с шагом 1 гПа. Траектории определялись при условии, что максимальное расстояние, на которое может переместиться циклон за 6 часов (шаг по времени) не может превышать 800 км (при максимальной скорости циклона 133 км/ч) и изменение давления в центре при этом не должно превышать 20 гПа.

В разделе 1.2 проводится сравнение характеристик внетропических циклонов для разных регионов (внетропические широты, Евро-Атлантический и Тихоокеанский сектор СП), полученных различными методами идентификации циклонов с использованием данных реанализа для полей приповерхностного атмосферного давления.

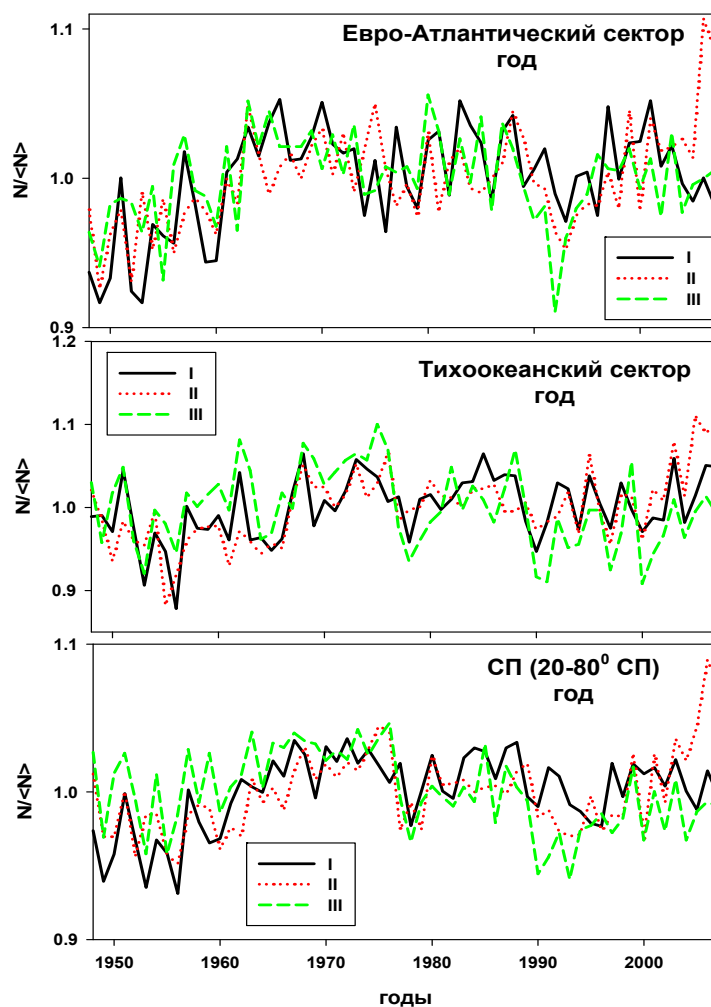


Рис. 1.1. Межгодовые вариации общего количества внетропических циклонов N (нормированные на среднее значение $\langle N \rangle$ для периода 1948-2007 гг.) по данным NCEP/NCAR реанализа для Евро-Атлантического (а) и Тихоокеанского (б) секторов и в целом для СП (в), полученные с использованием различных методов (I, II, III) идентификации циклонов.

Отмечено общее согласие анализировавшихся методов за исключением количества циклонов, полученных на основе метода III (рис. 1.1). Это связано с дискретным шагом по давлению при идентификации циклонов этим методом.

Отмечено также, что с учетом областей с существенным влиянием орографических эффектов идентифицируется на 6% больше циклонов, чем без их учета.

В разделе 1.3 проводится сравнение характеристик внетропических циклонов,

определенных по трем разным данным реанализа (NCEP/NCAR, ERA-40 и ERA-INTERIM), с использованием метода I.

Количество циклонов, идентифицированных на основе разных данных реанализа, различается. Наибольшее количество циклонов отмечено с использованием ERA-INTERIM реанализа с более детальным пространственным разрешением, наименьшее – по данным NCEP/NCAR реанализа (табл. 1.2).

Период	Реанализ	СП (1989-1998)	СП (1999-2008)
Зима	NCEP/NCAR	593 (± 13)	600 (± 19)
	ERA-40	570 (± 26)	
	ERA-INTERIM	696 (± 18)	792 (± 34)
Лето	NCEP/NCAR	621 (± 18)	637 (± 11)
	ERA-40	696 (± 30)	
	ERA-INTERIM	719 (± 10)	810 (± 37)
Год	NCEP/NCAR	2383 (± 35)	2417 (± 30)
	ERA-40	2434 (± 82)	
	ERA-INTERIM	2814 (± 45)	3209 (± 77)

Таблица 1.2 Количество внетропических циклонов СП в среднем за год и для различных сезонов по данным реанализа NCEP/NCAR, ERA-40 и ERA-INTERIM для периода 1989-2008 гг., определенное с использованием метода I. В скобках приведены среднеквадратические отклонения (СКО) для межгодовой изменчивости.

По данным с более грубым пространственным разрешением (NCEP/NCAR, ERA-40) отмечено меньшее количество мелких циклонов. Это связано с невозможностью идентификации циклонов с размерами меньше пространственного разрешения используемых данных. По более детальным данным ERA-INTERIM реанализа выявляются и наиболее глубокие циклоны.

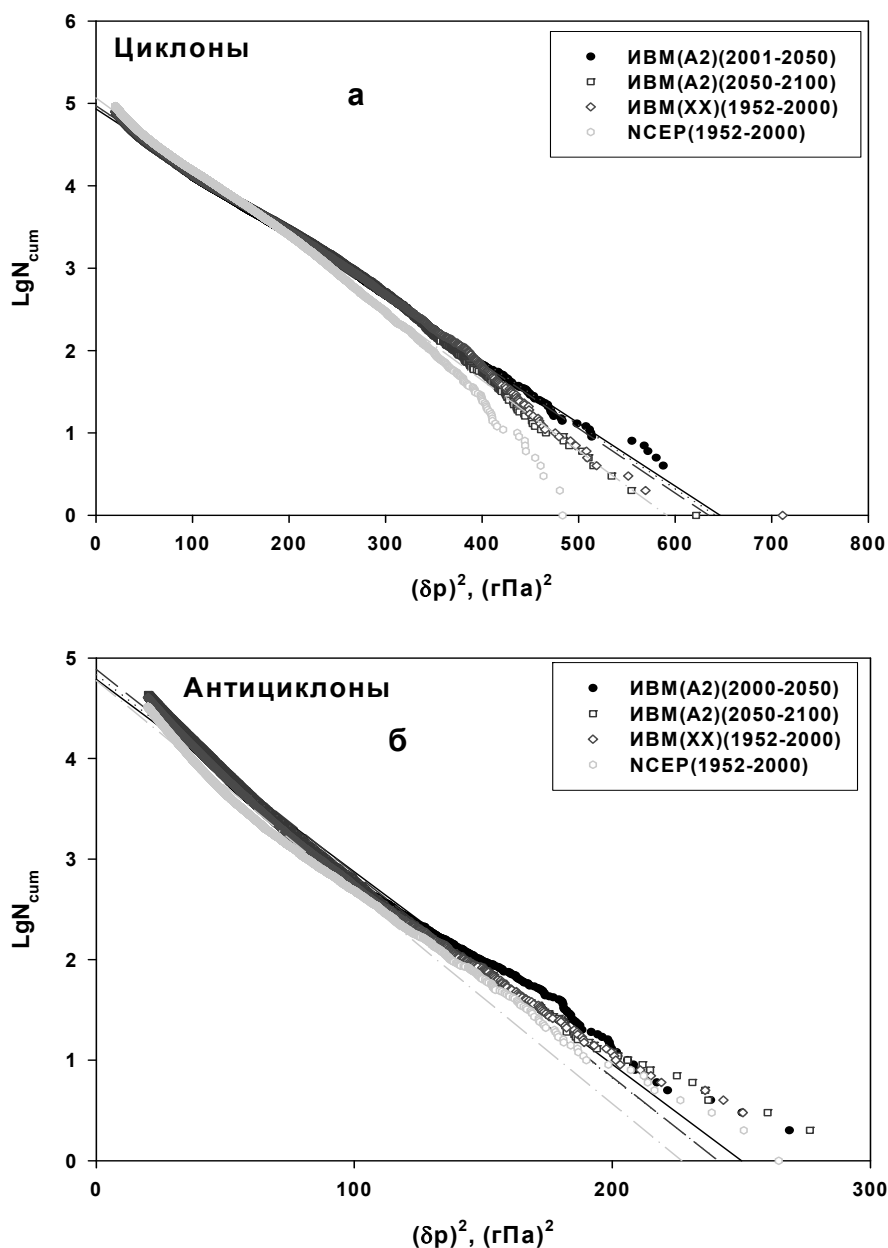


Рис. 1.2. Кумулятивные распределения числа внутропических атмосферных вихрей в зависимости от величины $(\delta p)^2$, характеризующей энергию вихря, по данным реанализа и расчетам с КМОЦ ИВМ РАН для периода 1952-2100 гг. (при сценарии SRES-A2 для XXI века, а) для циклонов, б) для антициклонов.

В разделе 1.4 проводится анализ функций распределения числа синоптических вихрей в зависимости от их интенсивности (энергии) и площади (Акперов и др., 2007; Голицын и др., 2007). Отмечено, что кумулятивные

распределения количества внетропических циклонов СП в зависимости от их интенсивности и площади имеют экспоненциальный характер как по данным реанализа, так и по модельным расчетам (рис. 1.2). При этом для экстремальных циклонов их повторяемость уменьшается быстрее экспоненты, а для экстремальных антициклонов – наоборот - медленнее экспоненты. Дефицит экстремальных циклонов уменьшает риск их неблагоприятных последствий, тогда как повышенная вероятность экстремальных антициклонов увеличивает риск таких неблагоприятных последствий как засухи летом и экстремальные морозы зимой.

В разделе 1.5 проводится обсуждение результатов главы 1.

Глава 2 посвящена исследованию чувствительности параметров циклонической активности в атмосфере внетропических широт СП с температурным режимом на основе эмпирических данных, а также с использованием сравнительно простой модели, описывающей взаимосвязь внетропических циклонов с температурным режимом.

В разделе 2.1 проведен анализ связи вертикальной температурной стратификации тропосферы СП с приповерхностной температурой.

Средние значения γ для тропосферы определялись на основе линейной регрессии (Мохов и Акперов, 2006)

$$T(z) = T(0) - \gamma z$$

по температурным среднемесячным и среднегодовым данным на стандартных уровнях в атмосфере (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150 и 100 гПа) от поверхности до уровня тропопаузы. Уровень тропопаузы изменялся от 300 гПа в полярных широтах до 100 гПа - в тропических.

Величина вертикального градиента температуры γ в тропосфере СП в целом близка к 6.1 К/км, над сушей около 6.2 К/км, а над океаном около 6.1 К/км. При этом величина γ уменьшается от 6.5 К/км в низких широтах до 4.5 К/км в

приполярных.

По изменениям величины γ во времени (годовом ходе, межгодовой изменчивости) на основе линейных регрессий

$$\gamma = a_0 + a_1 T_s$$

оценивались значения $d\gamma/dT_s$ - параметра чувствительности γ к изменениям приповерхностной температуры T_s (коэффициент линейной регрессии a_1).

Значения $d\gamma/dT_s$ - параметра чувствительности γ к изменению T_s , для СП в годовом ходе получены около $0.9 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ над океаном, $3.9 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ над континентами и $2.3 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ для полушария в целом. Соответствующие величины по данным в межгодовой изменчивости получены около $4.1 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ для СП в целом, $4.2 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ над океанами и $3.8 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ над континентами.

Полученные положительные значения $d\gamma/dT_s$ в целом характеризуют положительную климатическую обратную связь через вертикальный градиент температуры и свидетельствуют об уменьшении статической устойчивости тропосферы в целом при глобальном потеплении. Наряду с общей тенденцией увеличения γ с ростом T_s отмечены режимы с обратной тенденцией – главным образом над океаническими областями.

В разделе 2.2 проведен анализ чувствительности параметров внетропических циклонов к климатическим изменениям с помощью модели циклонической и антициклонической активности в атмосфере внетропических широт, связанной с характеристиками температурной стратификации атмосферы (далее ММПХ-модель) (Мохов и др., 1992) в сопоставлении с данными на основе 60-летних данных (1948-2007 гг.) NCEP/NCAR реанализа. (При построении ММПХ-модели в качестве основного механизма генерации синоптических возмущений в атмосфере средних и высоких широт принималась бароклинная неустойчивость квазизонального потока.)

Чувствительность количества циклонов (N) к изменению приповерхностной

температуры T_s оценивалась на основе ММПХ-модели

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dT_s} \cong -\frac{3}{2T_s} - \frac{(-dT_{ep}/dT_s)}{T_{\gamma-n}} - \frac{1}{2} \frac{d(\gamma_e - \gamma)/dT_s}{(\gamma_e - \gamma)}$$

или в случае сухой (безоблачной) атмосферы

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dT_s} \cong -\frac{3}{2T_s} - \frac{(-dT_{ep}/dT_s)}{T_s} - \frac{1}{2} \frac{d(\gamma_a - \gamma)/dT_s}{(\gamma_a - \gamma)}$$

Здесь T_{ep} – перепад температуры между экватором и полюсом, $\gamma_e = \gamma_a - (\gamma_a - \gamma_{\text{ва}})\delta$, где γ_a – сухоадиабатическое значение вертикального градиента температуры в тропосфере γ , $\gamma_{\text{ва}}$ – влажно-адиабатический градиент, δ - доля объема тропосферы, занятая облачностью (в простейшем случае вклад облачности учитывается долей покрытого облаками небосвода n), в ММПХ-модели. При $\delta=0$ в сухой атмосфере $\gamma_e = \gamma_a$.

	$(1/N)(dN/dT_s), 1/K$		
Широты СП, град	реанализ 1948-2007 гг.	ММПХ-модель	
		сухая атмосфера	с учетом влажности
20-80°	-0.027(±0.012)	-0.047	-0.029

Таблица 2.1. Оценки параметра чувствительности $(1/N)(dN/dT_s)$ для внетропических широт (20-80°) СП в целом по данным реанализа и на основе ММПХ-модели для сухой атмосферы и с учетом влажности.

В табл. 2.1 представлены модельные оценки параметра чувствительности $(1/N)(dN/dT_s)$ для внетропических широт СП в целом, полученные по данным реанализа и в рамках ММПХ-модели. Оценка параметра чувствительности для внетропических широт СП в целом для ММПХ-модели с учетом влажности близка к оценке по данным реанализа и соответствует уменьшению N в среднем за год

примерно на 3% при увеличении приповерхностной температуры СП на 1 К. Для модели сухой (безоблачной) атмосферы этот параметр чувствительности для полушария в целом по абсолютной величине почти вдвое больше, чем по данным реанализа (но всего на одну пятую больше верхней границы интервала неопределенности на уровне СКО).

Соответствующие модельные и эмпирические оценки были сделаны и для других характеристик внетропических циклонов, в том числе для их характерных размеров L и плотности упаковки Δ на сфере.

Чувствительность размеров внетропических циклонов к изменению температурного режима можно оценить, используя в качестве характерного масштаба циклона радиус деформации Россби L_R . Оценка для параметра чувствительности $L_R^{-1} dL_R / dT_s = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{T} - \frac{d\gamma}{dT} / (\gamma_a - \gamma) \right]$ в сухой атмосфере указывает, что возможны режимы и с $dL_R/dT_s > 0$, и $dL_R/dT_s < 0$ в зависимости от тенденций изменения характеристик статической устойчивости атмосферы (γ и частоты Брента – Вейсяля N).

При общей положительной корреляции вертикального градиента температуры γ в тропосфере для полушария в целом с приповерхностной температурой T_s , над океаническими областями проявляется также отрицательная корреляция и в годовом ходе и в межгодовой изменчивости. Подобная тенденция характерна и для бароклинной атмосферы с неизменной статической устойчивостью или со слабой тенденцией ее уменьшения при потеплении (с малыми по сравнению с $(\gamma_a - \gamma)/T_s$ величинами $d\gamma/dT_s$). При достаточно сильной тенденции ослабления статической устойчивости при $d\gamma/dT_s > 0$ значения L_R уменьшаются при увеличении T_s .

Эмпирические оценки параметра чувствительности dL/dT_s размеров внетропических циклонов L к изменению температуры T_s были получены с использованием данных реанализа на основе линейной регрессии L на T_s .

В табл. 2.2 представлены оценки параметра чувствительности $(1/L)(dL/dT_s)$ K^{-1} для разных широтных зон СП по данным реанализа и на основе модельных расчетов для сухой атмосферы и с учетом влажности. Согласно табл. 2.2 проявляются тенденции уменьшения характерных размеров внетропических циклонов с ростом приповерхностной температуры по 60-летним данным реанализа, но эти тенденции статистически незначимые. При этом оценки параметра чувствительности $(1/L)(dL/dT_s)$ по данным реанализа находятся в диапазоне модельных оценок для сухой атмосферы и с учетом влажности. В целом для внетропических широт СП модельные оценки $(1/L)(dL/dT_s)$ находятся в диапазоне от $-0.002 K^{-1}$ для сухой атмосферы до $-0.019 K^{-1}$ с учетом влажности.

Широты СП, град	$(1/L)(dL/dT_s), 1/K$		
	реанализ 1948-2007 гг.	ММПХ-модель	
		сухая атмосфера	с учетом влажности
20-40	$-0.0008(\pm 0.0131)$	-0.0001	-0.033
40-60	$-0.0016(\pm 0.0096)$	-0.0013	-0.021
60-80	$-0.0046(\pm 0.0061)$	-0.0049	-0.011

Таблица 2.2. Оценки параметра чувствительности $(1/L)(dL/dT_s)$ K^{-1} для разных широтных зон СП по данным реанализа и на основе модельных расчетов для сухой атмосферы и с учетом влажности.

Оцененная по 60-летним данным NCEP/NCAR реанализа (для 1948-2007 гг.) среднегодовая плотность упаковки внетропических циклонов для СП (доля площади земной поверхности, покрытой циклонами (или антициклонами)) $\Delta = 0.08(\pm 0.01)$, а для холодного и теплого сезонов – $0.09(\pm 0.01)$ и $0.07(\pm 0.01)$, соответственно. В скобках приведены стандартные отклонения соответствующих оценок. Эти оценки соответствуют свободной упаковке циклонов на сфере в ММПХ-модели, в которой бароклинные вихри с характерным размером порядка масштаба Россби L_R находятся друг от друга на расстоянии порядка радиуса затухания взаимодействия бароклинных вихрей L_O (масштаба Обухова).

При этом по модельным оценкам среднегодовая величина Δ в сухой атмосфере для современного климата равна 0.11. В случае влажно-насыщенной атмосферы в ММПХ-модели $\Delta=0.05$. В целом оценки степени упаковки внетропических циклонов в реальной атмосфере находятся в диапазоне модельных оценок для предельных случаев сухой и влажно-насыщенной атмосферы.

Сделаны оценки чувствительности плотности упаковки внетропических циклонов к изменению приповерхностной температуры согласно

$$\frac{1}{NS} \frac{d(NS)}{dT_s} = \frac{(dN/dT_s)}{N} + \frac{(dS/dT_s)}{S},$$

где $\frac{(dN/dT_s)}{N}$ – параметр чувствительности количества циклонов N к изменению приповерхностной температуры T_s , а $\frac{(dS/dT_s)}{S}$ – параметр чувствительности площади внетропических циклонов S к изменению температуры T_s .

Полученная с использованием 60-летних данных NCEP/NCAR реанализа (1948-2007 гг.) оценка $\frac{1}{NS} \frac{d(NS)}{dT} = -0.025(\pm 0.013) \text{ K}^{-1}$ для СП в целом соответствует уменьшению плотности упаковки внетропических циклонов на полусфере на 2.5% при увеличении приповерхностной температуры на 1К. Эта тенденция связана с общим уменьшением числа внетропических циклонов СП: $\frac{(dN/dT)}{N} = -0.027(\pm 0.012) \text{ K}^{-1}$ без существенных изменений характерных размеров внетропических циклонов. Параметр чувствительности $\frac{(dS/dT)}{S}$ для СП в целом по данным реанализа оценен незначимым (значение соответствующего коэффициента регрессии S на T на порядок меньше СКО).

Оценено влияние меридионального и вертикального градиента температуры в тропосфере на изменение количества и размеров внетропических циклонов по данным NCEP/NCAR реанализа. Получено, что для разных широтных зон

меняется относительное влияние вертикального градиента температуры и меридионального градиента температуры.

В разделе 2.3 проводится обсуждение результатов главы 2.

Глава 3 посвящена анализу возможных изменений характеристик внетропических циклонов СП при изменениях климата. Проведен анализ характеристик внетропических циклонов по данным NCEP/NCAR реанализа и по расчетам с климатическими моделями общей циркуляции (КМОЦ) ИВМ РАН и IPSL CM4 для XX и XXI веков.

В разделе 3.1 проведен анализ изменчивости параметров циклонов на основе модельных расчетов (КМОЦ ИВМ РАН и IPSL CM4) для XX века для внетропических широт в целом и Евро-Атлантического сектора в сопоставлении с данными NCEP/NCAR реанализа. Анализировались параметры внетропических циклонов в зависимости от их минимального времени жизни.

В разделе 3.2 проведен анализ изменений параметров циклонов внетропических широт СП в целом и Евро-Атлантического сектора в XX и XXI веках по расчетам с КМОЦ ИВМ РАН и IPSL CM4 с учетом возможных антропогенных воздействий, в частности при сценарии SRES-A2 для XXI века.

Для XXI века на основе модельных расчетов наряду со значимым уменьшением среднегодового количества внетропических циклонов для СП в целом, а также для теплого и холодного сезонов (табл. 3.1) отмечено увеличение количества зимних интенсивных циклонов, в частности над Евро-Атлантическим сектором.

Для Евро-Атлантического сектора при статистически значимом уменьшении в XXI веке количества сравнительно слабых внетропических циклонов отмечено значимое увеличение количества циклонов с интенсивностью в диапазоне от 15 до 30 гПа.

Отмечено значимое уменьшение количества мелких циклонов, а также увеличение крупных циклонов для СП в целом. Для Евро-Атлантического сектора

в целом, а также для сезонов статистически значимое уменьшение количества циклонов отмечено для диапазона размеров до 1000 км и статистически незначимое увеличение количества крупных (с характерным радиусом более 1000 км) внетропических циклонов.

сезон	период	Евро-Атлантический сектор	СП
Зима	I	-0.8	-2.5
	II	-8.9	-6.5
Лето	I	-9.2	-5.7
	II	-13.7	-9.9
Год	I	-5.3	-3.9
	II	-11.8	-8.4

Таблица 3.1. Изменение (%) количества внетропических циклонов СП, а также для Евро-Атлантического сектора в среднем за год и для различных сезонов по модельным расчетам (КМОЦ IPSL CM4) к середине (I) и к концу (II) XXI века относительно конца XX века: I – (2041-2060 гг.) – (1981-2000 гг.), II – (2081-2100 гг.) – 1981-2000 гг. Выделены значимые изменения (на уровне 95%).

В разделе 3.3 проводится обсуждение результатов главы 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного анализа получены следующие основные результаты:

1. Проведено сравнение различных параметров внетропических циклонов с использованием разных данных реанализа (NCEP/NCAR, ERA-40, ERA-INTERIM) и методов идентификации синоптических вихрей. Выявлены количественные различия характеристик внетропических циклонов Северного полушария – их числа, размеров, интенсивности и времени жизни, связанные с временным и пространственным разрешением анализируемых данных и методами идентификации, а также с орографическими эффектами.
2. Получено, что кумулятивные распределения количества циклонов и антициклонов в зависимости от их интенсивности и площади имеют

экспоненциальный вид как по данным реанализа, так и по модельным расчетам. При этом для экстремальных циклонов их повторяемость уменьшается быстрее экспоненты, а для экстремальных антициклонов – наоборот – медленнее экспоненты.

3. Сделаны оценки чувствительности количества, размеров, интенсивности и плотности упаковки внетропических циклонов к изменению температурного режима на основе 60-летних данных реанализа. В целом для внетропических широт СП по данным реанализа отмечено уменьшение общего количества внетропических циклонов и плотности их упаковки с ростом приповерхностной температуры.

4. На основе сравнительно простой модели сделаны оценки чувствительности количества, размеров и плотности упаковки внетропических циклонов к изменению температурного режима в тропосфере в сопоставлении с данными реанализа. Отмечено общее согласие модельных оценок с полученными на основе данных реанализа.

5. Оценено влияние меридионального и вертикального градиента температуры в тропосфере на изменение количества и размеров внетропических циклонов по 60-летним данным реанализа в сопоставлении с оценками на основе сравнительно простой модели. Получено, что относительное влияние вертикального градиента температуры в тропосфере и меридионального градиента температуры различается для разных широтных зон СП.

6. Наряду со значимым уменьшением количества внетропических циклонов при возможных антропогенных изменениях в XXI веке анализ функций распределения количества циклонов в зависимости от их интенсивности по расчетам с климатическими моделями общей циркуляции выявил увеличение количества экстремальных циклонов, в частности зимой над Евро-Атлантическим регионом.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Акперов М.Г., Мохов И.И. Оценки чувствительности циклонической активности в тропосфере внетропических широт к изменению температурного режима // Изв. РАН. ФАО. 2012. Т.48. (в печати).
2. Akperov M.G., Mokhov I.I. Estimation of tendencies of change for different characteristics of extratropical cyclones and anticyclones in the Northern Hemisphere // EGU General Assembly, Vienna, Austria. 2011. Geoph. Res. Abstracts. V. 13. EGU2011-1688.
3. Mokhov I.I., Akperov M.G., Vetrova A.A. Russian heat wave and blockings activity changes // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. Ed. by J. Cote. WMO/TD-No. 1578. 2011. P.7-13.
4. Akperov M.G., Mokhov I.I. Comparison of extratropical cyclones characteristics obtained from different reanalyses by three methods // EGU General Assembly, Vienna, Austria. 2010. Geoph. Res. Abstracts. V. 12. EGU2010-1722.
5. Акперов М.Г., Мохов И.И. Сравнительный анализ методов идентификации внетропических циклонов // Изв. РАН. ФАО. 2010. Т.46. № 5. С.620-637.
6. Мохов И.И., Чернокульский А.В., Акперов М.Г., Дюфрен Ж.-Л., Ле Трет Э. Изменения характеристик циклонической активности и облачности в атмосфере внетропических широт северного полушария по модельным расчетам в сопоставлении с данными реанализа и спутниковыми данными // ДАН. 2009. Т.424. № 3. С.393-397.
7. Mokhov I.I., Akperov M.G., Dufresne J.-L., Le Treut H. Cyclonic activity and its total action over extratropical latitudes in Northern Hemisphere from model simulations // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. Ed. by J. Cote. WMO/TD-No. 2009. P.07.9-07.10.
8. Акперов М.Г. Особенности изменчивости глобальных полей давления по данным NCEP/NCAR реанализа // XII междунар. конф. молодых ученых. "Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы". Борок. 2008. С.17.

9. Акперов М.Г., Бардин М.Ю., Володин Е.М., Голицын Г.С., Мохов И.И. Функции распределения вероятностей циклонов и антициклонов по данным реанализа и модели климата ИВМ РАН // Изв. РАН. ФАО. 2007. Т.43. № 6. С.764-772.
10. Голицын Г.С., Мохов И.И., Акперов М.Г., Бардин М.Ю. Функции распределения вероятности для циклонов и антициклонов в период 1952-2000 гг.: инструмент для определения изменений глобального климата // ДАН. 2007. Т.413. № 2. С.254-256.
11. Голицын Г.С., Мохов И.И., Акперов М.Г., Бардин М.Ю., Володин Е.М. Оценки гидрометеорологических рисков и функций распределения вероятности атмосферных вихрей по данным реанализа и моделям климата // Проблемы анализа риска. 2007. Т.4. № 1. С.27-37.
12. Akperov M.G. Tropospheric lapse rate and its relation to surface temperature for warm and cold seasons from reanalysis data // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. Ed. by J. Cote. WMO/TD-No. 1397. 2007. P.02.01-02.02.
13. Мохов И.И., Акперов М.Г., Лагун В.Е., Луценко Э.И. Интенсивные арктические мезоциклоны // Изв. РАН. ФАО. 2007. Т.43. № 3. С.291-297.
14. Mokhov I.I., Akperov M.G., Chernokulsky A.V., Dufresne J.-L., Le Treut H. Comparison of cloudiness and cyclonic activity changes over extratropical latitudes in Northern Hemisphere from model simulations and from satellite and reanalysis data // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. Ed. by J. Cote. WMO/TD-No.1397. 2007. P.07.15-07.16.
15. Мохов И.И., Акперов М.Г. Вертикальный температурный градиент в тропосфере и его связь с приповерхностной температурой по данным реанализа // Изв. РАН. ФАО. 2006. Т.42. № 4. С.467-475.
16. Мохов И.И., Елисеев А.В., Демченко П.Ф., Хон В.Ч., Акперов М.Г., Аржанов М.М., Карпенко А.А., Тихонов В.А., Чернокульский А.В., Сигаева Е.В.. Климатические изменения и их оценки с использованием глобальной модели ИФА

РАН // ДАН. 2005. Т.402. № 2. С 243-247.

17. Mokhov I.I., Akperov M.G. Intense Arctic and Antarctic mesocyclones (polar lows) and their variability // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. Ed. by J. Cote. WMO/TD-No.1161. 2003. P.02.09-02.10.