

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

Анализ изменений момента импульса атмосферы

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 411 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Обуховой Анастасии Сергеевны

Научный руководитель

профессор, д. ф.-м. н., профессор

М.Б. Богданов

Заведующий кафедрой

д. ф.-м. н.

М.Б. Богданов

Саратов 2018

Во введении обоснована актуальность проблемы изучения временных изменений момента импульса атмосферы, перечислена изученная специальная литература, изложена структура работы, а также сформулированы цели работы.

Изучение временных изменений момента импульса атмосферы актуально, поскольку это позволит лучше понимать физические механизмы формирования ОЦА, а также подробно проанализировать некоторые процессы, определяющие суточные, недельные, полумесячные и сезонные колебания атмосферной циркуляции. Изучение изменений момента импульса атмосферы имеет также и практическое значение: знание временных изменений момента импульса используется для коррекции данных астрономических и геодезических наблюдений, а также при решении ряда метеорологических и климатических задач.

Целью данной работы является изучение временных изменений момента импульса атмосферы, выявление возможной его связи с другими индексами атмосферной циркуляции, а также исследование реакции момента импульса атмосферы на изменения солнечной постоянной и глобальной температуры.

Для достижения цели работы изучалась специальная литература по общей циркуляции атмосферы, основные объекты общей циркуляции, а также рассмотрены индексы общей циркуляции. Для выявления связи между значениями момента импульса атмосферы и изменениями солнечной постоянной и глобальной температуры была изучена теория подобия планетных атмосфер Г.С. Голицына.

Работа состоит из трех разделов. Первый раздел называется *«Общая циркуляция атмосферы и ее характеристики»*. Второй раздел называется *«Исследование возможной связи момента импульса атмосферы с другими индексами атмосферной циркуляции»*. Третий раздел называется *«Исследование реакции момента импульса атмосферы на изменения солнечной постоянной и глобальной температуры»*.

Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) — это планетарная система воздушных течений над земной поверхностью. Перенос воздушных масс общей циркуляцией обуславливает глобальный перенос тепла и влаги. Существование атмосферной циркуляции вызвано неоднородным распределением атмосферного давления, которое обусловлено влиянием неодинакового нагрева земной поверхности на разных широтах, а также над сушей и океанами. На характер движения воздуха относительно земной поверхности большое влияние оказывает вращение нашей планеты. Совокупность этих причин определяет местонахождение и перемещение постоянных и сезонных центров действия атмосферы. Центры действия атмосферы представляют собой наиболее устойчивые особенности атмосферной циркуляции. С перемещением воздуха в процессе общей циркуляции связаны основные изменения погоды.

Атмосфера, удерживаемая силой притяжения Земли, вращается относительно земной поверхности. Физической характеристикой этого движения служит момент импульса атмосферы. Его анализ дает возможность получить представление о кинематике циркуляции воздуха.

В первом разделе подробно рассматривается общая циркуляция атмосферы, ее формирование. Перечислены индексы общей циркуляции — Северо-Атлантическое колебание, Южное колебание и Атлантическое мультидекадное колебание, а также глобальные объекты циркуляции — планетарная высотная фронтальная зона и момент импульса атмосферы.

Общая циркуляция атмосферы представляет собой систему крупномасштабных воздушных течений на Земле, соизмеримых с большими частями материков и океанов, и является, наряду с тепло - и влагооборотом, одним из основных климатообразующих факторов. ОЦА складывается под влиянием неравномерного распределения солнечной радиации на разных широтах, действия силы Кориолиса и неоднородностей подстилающей поверхности.

Солнечная радиация формирует меридиональную составляющую общей атмосферной циркуляции, а сила Кориолиса определяет зональный перенос общей циркуляции атмосферы. У подстилающей поверхности движение более сложное, так как сказывается влияние силы трения из-за неоднородной подстилающей поверхности, а также различия ее – материка или океаны. Как следствие формируется сложная система основных воздушных потоков. Из субтропических поясов высокого давления воздушные потоки идут в умеренные широты и к экваториальной ложбине. Над экватором образуются восточные ветры тропических широт. Над океанами благодаря существованию в них субтропических максимумов воздушные потоки существуют круглогодично и называются *пассатами*. Воздушный поток, идущий в умеренные широты от субтропических областей повышенного давления, формирует область *западных ветров умеренных широт*.

Дано определение центров действия атмосферы (ЦДА) – областей низкого и высокого приземного давления, обнаруживаемых на многолетних среднемесячных и среднесезонных синоптических картах. Эти центры характеризуют основные системы барических образований и в своей динамике от месяца к месяцу или от сезона к сезону отражают многие особенности климата и погоды.

Рассмотрены основные индексы общей циркуляции. Северо-Атлантическое колебание (САК) – это явление крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана, влияющее на характер синоптических процессов и формирование погоды над внеэкваториальными широтами северного полушария. Его описывают количественными характеристиками взаимодействия североатлантических центров действия атмосферы. Исследования показали, что моменты резкого изменения фазы САК обычно связаны со сменой преобладающего режима циркуляции атмосферы, то есть квазиустойчивое состояние циркуляции с временным масштабом от нескольких суток до нескольких недель.

Южное колебание считается важнейшим сигналом в межгодовой климатической изменчивости в системе «океан – атмосфера». Последствия Южного колебания в различных районах земного шара наблюдаются практически регулярно – каждые 2-7 лет. Распознавание колебания может проводиться по среднемесячным данным приземного давления (индекс SOI) или по среднемесячным аномалиям температуры поверхности экваториального района Тихого океана (индексы Эль-Ниньо и Ла-Нинья). В нормальных условиях конвекция наиболее активна над Индонезией и на западе Тихого океана. С уменьшением индекса южного колебания в районе австралийско-индонезийского центра действия наступает период крайне сухой погоды, а в центральных и восточных частях Тихого океана, где дождей обычно не бывает, начинаются проливные дожди. Меняется расположение областей конвекции в атмосфере не только над Тихим океаном, но и во всей приэкваториальной зоне.

Северо-Атлантическое колебание имеет также низкочастотную составляющую, названную Атлантическим мультидекадным колебанием или осцилляцией. Характерные периоды этой осцилляции составляют 65-75 лет. АМО характеризуется изменением температуры поверхности океана в Северной Атлантике. Колебания представляют собой смену теплой и холодной фаз, продолжительность каждой может изменяться от 20 до 40 лет, амплитуда колебаний экстремальных значений около градуса.

Атлантическое мультидекадное колебание оказывает влияние на атмосферную циркуляцию северного полушария, что в свою очередь сказывается на температуре воздуха и интенсивности осадков. Цикл АМО запускает изменение циркуляции (север – юг) и изменения траектории движения водных масс и тепла в Атлантическом океане.

Одним из главных объектов общей циркуляции атмосферы являются высотные фронтальные зоны. Высотная фронтальная зона, опоясывающая все Северное полушарие и характеризующаяся большими барическими и термическими градиентами, называется планетарной высотной фронтальной

зоной (ПВФЗ). Они играют значительную роль в развитии крупномасштабной циркуляции атмосферы, в том числе в активизации циклонической деятельности в умеренных широтах. Причина существования планетарной высотной фронтальной зоны – неравномерное распределение разности температур между полярными районами и экватором. Чаще всего ПВФЗ определяют как сравнительно узкую полосу сосредоточения максимальных градиентов температуры, давления, энергии атмосферной циркуляции и изменения скоростей ветра. ПВФЗ – один из наиболее активных структурных элементов ОЦА. К основным характеристикам ПВФЗ относятся: широта, интенсивность, длина, извилистость, площадь. В нашей работе мы рассмотрели длину, извилистость и площадь ПВФЗ.

Атмосфера обращается как твердое тело вместе с Землей и, кроме того, самостоятельно вращается вокруг земной поверхности. Поэтому ее абсолютный момент импульса оказывается суммой двух слагаемых: первое слагаемое есть переносной момент импульса атмосферы, возникающий из-за твердотельного вращения атмосферы вместе с Землей с угловой скоростью $\bar{\Omega}$, второе слагаемое характеризует движения воздуха относительно неподвижной земной поверхности, т.е. ветер, поэтому h называют моментом импульса ветров. Изменения абсолютного момента импульса атмосферы возникают из-за вариаций компонентов тензора инерции атмосферы и из-за колебаний компонентов момента импульса ветров. Вклад последнего фактора в изменения момента импульса Земли в несколько раз превышает вклад первого. Соответственно, в дальнейшем будут рассматриваться вариации момента импульса ветров. Движение атмосферы относительно оси вращения Земли характеризуется компонентом h_3 . Компонент момента импульса h_3 характеризует интенсивность зональной (усредненной по долготе) циркуляции атмосферы. Чем больше величина h_3 , тем сильнее западные ветры в атмосфере. Поскольку момент инерции атмосферы относительно оси вращения Земли изменяется во времени мало, величина h_3 в первом приближении определяет

угловую скорость вращения атмосферы как твердого тела относительно земной поверхности. Изменения величины h во времени отражают процессы, протекающие в атмосфере, и содержат ценную информацию об этих процессах. Межгодовые колебания величины h отражают долгопериодные изменения общей циркуляции атмосферы.

Второй раздел посвящен исследованию возможной связи момента импульса атмосферы с индексами общей циркуляции атмосферы. Рассмотрен временной ряд модуля момента импульса, его статистические характеристики. Для выявления возможной связи проанализированы корреляционные диаграммы и коэффициенты корреляции момента импульса с индексами САК, ЮК, АМО. Также рассмотрены временные ряды значений некоторых характеристик ПВФЗ и проанализированы корреляционные диаграммы момента импульса с характеристиками ПВФЗ – длиной, извилистостью и площадью.

Проведен статистический анализ исходного временного ряда модуля момента импульса атмосферы. Оценки асимметрии и эксцесса статистически значимо не отличаются от нуля, что говорит о близости распределения к нормальному. Для оценки плотности вероятности распределения по данным значениям третьего компонента была построена гистограмма частот и полигон частот, соответствующий этой гистограмме. Внешний вид диаграмм подтверждает, что распределение близко к нормальному.

Для оценки линейной взаимосвязи между индексами атмосферной циркуляции и значениями третьего компонента h_3 использовалось вычисление коэффициента линейной корреляции. Коэффициент корреляции Пирсона для значений третьего компонента момента импульса атмосферы и значений индекса САК равен $-0,09 \pm 0,12$, значение статистически значимо не отличается от нуля. Коэффициент корреляции Пирсона для значений третьего компонента момента импульса атмосферы и значений индекса Южного колебания равен $-0,30 \pm 0,11$. Он отличается от нуля на статистическом уровне

значимости $\alpha = 0,05$. Коэффициент корреляции Пирсона для значений третьего компонента момента импульса атмосферы и значений индекса АМО равен $-0,01 \pm 0,12$, значение статистически значимо не отличается от нуля.

Рассмотрены некоторые из характеристик планетарной высотной фронтальной зоны – длина, извилистость, площадь. Для каждой из этих характеристик построены временные графики с месячной и годовой дискретностью. На графиках этих трех характеристик, построенных с месячной дискретностью, обнаружены интересные закономерности.

Для исследования зависимости характеристик ПВФЗ и значений полного момента импульса атмосферы были построены корреляционные диаграммы и посчитаны коэффициенты корреляции.

Коэффициент корреляции Пирсона для значений модуля полного момента импульса атмосферы и значений длины ПВФЗ равен $-0,27 \pm 0,12$. Коэффициент корреляции Пирсона для значений модуля полного момента импульса атмосферы и значений извилистости ПВФЗ равен $-0,32 \pm 0,11$. Коэффициент корреляции Пирсона для значений модуля полного момента импульса атмосферы и значений площади ПВФЗ равен $0,36 \pm 0,11$. Все значения статистически значимо отличаются от нуля. Проверка гипотезы о равенстве нулю коэффициентов корреляции с использованием распределения Стьюдента для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и нашего объема выборки $n = 62$ показывает, что эта гипотеза отвергается с вероятностью $0,95$, так как значение $|t_{n-2}|$ во всех случаях превышало критическое $t_{крит}$.

Таким образом, была обнаружена связь между глобальным индексом циркуляции атмосферы – моментом импульса атмосферы и характеристиками глобального объекта циркуляции – ПВФЗ.

В третьем разделе представлено описание теории подобия и размерности, безразмерные комплексы Г.С. Голицына для планетных атмосфер, а также полученные результаты исследования реакции момента импульса на изменения солнечной постоянной и глобальной температуры.

При проведении различных экспериментов, в практических расчетах может появиться необходимость принимать во внимание различные обстоятельства, связанные с физическим подобием явлений и с размерностями рассматриваемых величин. В теории размерности и подобия устанавливаются условия, которые должны соблюдаться в опытах с моделями, а также выделяются характерные и удобные параметры, определяющие основные эффекты и режимы процессов.

При постановке опытов важно правильно выбрать безразмерные параметры. Их число должно быть минимальным, и данные параметры должны отражать основные эффекты в наиболее полной форме. Возможность такого предварительного анализа и выбора системы определяющих безразмерных параметров *дает теория размерности и подобия*. Теория размерности дает возможность получить выводы, следующие из возможности использовать для описания физических закономерностей произвольные или специальные системы единиц измерений. Всякую систему уравнений, заключающую в себе математическую запись законов, управляющих явлением, можно сформулировать как соотношение между безразмерными величинами.

Характеристика общей циркуляции атмосферы регулируется набором внешних параметров. Существенным определяющим параметром является поток величина солнечной постоянной.

Известный отечественный геофизик Г.С. Голицын применил теорию подобия к общей циркуляции атмосферы. Он получил три независимых комплекса из шести внешних параметров, которые, как предполагается, характеризуют массу воздушного столба, угловую скорость вращения атмосферы и ускорение силы тяжести соответственно. Как известно из теории подобия и размерности, что если комплекс намного больше или намного меньше единицы, то атмосферная циркуляция не зависит от этого комплекса. Для Земли наиболее важным является второй комплекс.

Предполагая, что тензор инерции атмосферы не меняется, можно считать полный момент импульса атмосферы пропорциональным угловой скорости вращения атмосферы. Согласно соотношению подобия ожидается наличие положительной корреляции между значениями полного момента импульса атмосферы и значениями радиационного воздействия, а также значениями глобальной температуры.

Для проверки возможной взаимосвязи характеристик была построена корреляционная диаграмма для значений модуля полного момента импульса и значений аномалий глобальной температуры. Коэффициент корреляции Пирсона равен $0,29 \pm 0,11$. Значение коэффициента статистически значимо отличается от нуля.

Также была построена корреляционная диаграмма для значений радиационного воздействия и значений модуля полного момента импульса для проверки предположения о пропорциональности полного момента импульса атмосферы радиационному воздействию. Коэффициент корреляции Пирсона оказался равен $0,12 \pm 0,16$. Значение статистически значимо не отличается от нуля, но все же знак корреляции положителен, что соответствует выводу из теории подобия.

В заключении приведены основные результаты бакалаврской работы. Было изучено изменение момента импульса атмосферы, проанализирован временной ряд изменений его третьего компонента и рассчитаны основные статистические характеристики. Из анализа значений асимметрии, эксцесса и гистограмм с использованием критерия Колмогорова установлено, что распределение близко к нормальному - вероятность совпадения с нормальным распределением равна 0.84.

Для выявления возможной связи изменений момента импульса атмосферы с другими индексами атмосферной циркуляции были построены корреляционные диаграммы и рассчитаны соответствующие коэффициенты

линейной корреляции. Показано, что небольшая, но статистически значимая корреляция существует только с индексом Южного колебания.

Проанализирована связь полного момента импульса атмосферы с характеристиками планетарной высотной фронтальной зоны. Коэффициент корреляции Пирсона оказался равным $0,36 \pm 0,11$ – для площади ПВФЗ; $0,32 \pm 0,11$ – для извилистости ПВФЗ и $- 0,27 \pm 0,12$ – для длины ПВФЗ. Проверка гипотезы о равенстве нулю коэффициентов корреляции, проведенная с использованием распределения Стьюдента, показала, что значения статистически значимо отличаются от нуля, эта гипотеза была отвергнута с вероятностью 0,95 для всех характеристик.

Исследована возможная связь среднегодовых значений полного момента импульса атмосферы с глобально осредненными значениями приповерхностной температуры, а также с вариацией солнечной постоянной, приводящей к изменению радиационного воздействия. Проанализированы полученные корреляционные диаграммы и рассчитаны значения коэффициентов корреляции. Коэффициент корреляции Пирсона для значений полного момента импульса и значений аномалий глобальной температуры оказался равным $0,29 \pm 0,11$ и с вероятностью 0,95 отличается от нуля. Это подтверждает основанный на теории подобия и размерности вывод об увеличении модуля углового момента атмосферы с ростом эффективной температуры планеты. Коэффициент корреляции для значений полного момента импульса и значений радиационного воздействия равен $0,12 \pm 0,16$. Его значение статистически значимо не отличается от нуля, но согласно предсказаниям теории имеет положительный знак.

Сделан вывод о том, что механизмы формирования общей циркуляции атмосферы довольно сложны и наблюдаемые изменения момента импульса атмосферы отчасти отражают эту сложность. Дальнейшее изучение изменений этой характеристики циркуляции атмосферы очень важно и может иметь большое практическое значение.

