

О.Н. Топтунова, О.Г. Анискина, А.П. Горшкова

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ И ЕЕ СВЯЗЬ
С ОСНОВНЫМИ ИНДЕКСАМИ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ**

O.N. Topunova, O.G. Aniskina, A.P. Gorshkova

**DYNAMIC PATTERNS OF CYCLONIC REGIMES OF THE NORTHERN
AND SOUTHERN HEMISPHERES AND ITS RELATIONSHIP
WITH THE MAIN CIRCULATION INDEXES OF THE ATMOSPHERE**

В статье на основе данных реанализа решается задача численной идентификации циклонов. Установлены частотно-временные характеристики изменчивости количества характеристик циклонов в обоих полушариях. Выявлены несколько видов колебаний во временных характеристиках циклонов и объяснена связь этих колебаний с внешними и внутренними параметрами атмосферы. Исследована динамика изменчивости количества и характеристик циклонов в северном и южном полушариях и проведён их сравнительный анализ. Показано, что со второй половины 1980-х гг. в атмосфере происходят процессы, вызвавшие значительные изменения в циркуляционных режимах южного и северного полушарий. Количественно оценены связи различных характеристик циклонических режимов, в том числе количество циклонов, их интенсивность и размеры с интенсивностью крупномасштабных режимов циркуляции. Выявлена значительная связь циркуляционных режимов южного и северного полушарий с Северо-Атлантическим колебанием, Атлантическим мульти-декадным колебанием, Южным колебанием (Эль-Ниньо/Ла-Нинья) и с чандлеровским колебанием.

Ключевые слова: индентификация циклонов, атмосферная циркуляция, циклоническая активность, режимы циклонов, циклонический режим, индексы циркуляции.

The main objective of this paper is to solve a problem of numerical identification of cyclones based on the reanalysis data. The results show time-frequency characteristics of the variability of the number of cyclone characteristics in both hemispheres. Identified are several types of oscillations in time characteristics of cyclones and explained is the relationship of these fluctuations with internal and external atmospheric parameters. The dynamics of variability of the number and characteristics of cyclones in the Northern and Southern hemispheres is studied, and their comparative analysis is conducted. It is shown that since the second half of the 1980s the processes, having caused significant changes in the modes of circulation of the Southern and Northern hemispheres, have occurred in the atmosphere. Quantified are the connections of different characteristics of cyclonic modes, including the number of cyclones, their size and intensity with the intensity of large-scale circulation modes. There is a significant relationship of circulation modes in the Southern and Northern hemispheres with the North Atlantic Oscillation, the Atlantic Multi-decadal Oscillation, Southern Oscillation (El Nino/La Nica) and the Chandler wobble.

Key words: cyclone identification, atmospheric circulation, cyclonic activity, cyclonic modes, cyclonic regime, circulation indexes.

Введение

Сегодня нет однозначного ответа на вопрос о реальных механизмах формирования изменений в атмосферной циркуляции. Возможно, что это связано с тем, что в большинстве исследовательских работ для анализа изменчивости циркуляции используются осреднённые климатические поля. Такой подход не позволяет понять природу происходящих физических процессов, поскольку реальные механизмы формируются на синоптическом масштабе. Изучение изменений режимности циклонов очень важно для полноценного понимания крупномасштабной динамики атмосферы, для исследования долгопериодной изменчивости происходящих в ней процессов, в вопросах изучения изменений климата, для повышения качества долгосрочных прогнозов погоды, а также для диагностики происходящих региональных и глобальных изменений.

Исходные данные и методы исследования

В данной работе использовались данные реанализа NCEP/NCAR (<http://www.esrl.noaa.gov/>) [11]. Анализировались глобальные поля приведенного к уровню моря приземного давления с 1948 по 2014 г. на сетке с шагом $2,5^\circ$ по широте и долготе. На сегодняшний день гидродинамическая модель NCEP является одной из наиболее успешных моделей общей циркуляции атмосферы. Результаты реанализа представляют собой динамически согласованные поля метеорологических величин, охватывающие временной период более 60 последних лет. Временная дискретизация данных составляет 6 ч.

В ходе исследования была проанализирована корреляционная связь между Северо-Атлантическим колебанием и характеристиками циклонов в Северном полушарии. Северо-Атлантическое колебание является частью глобальной циркуляции, а значит есть основания полагать, что оно влияет не только на климат Европы, но и имеет связь с колебаниями погоды и климата всего Северного полушария. Кроме того, Северо-Атлантическое колебание имеет также низкочастотную составляющую, называемую Атлантическим мульти-декадным колебанием, или осцилляцией (АМО). Характерные периоды этой осцилляции составляют 65–75 лет. АМО характеризуется изменением температуры поверхности океана в Северной Атлантике. Колебания представляют собой смену холодной и теплой фазы, продолжительность каждой может меняться от 20 до 40 лет, а разница между экстремумами составляет примерно 1° [15]. Вероятнее всего, что в основе развития АМО лежат природные факторы. В XX в. климатические аномалии, связанные с АМО, сопровождаются и аномалиями, связанными с глобальным потеплением. Трудно разделить климатические аномалии, обусловленные только АМО и только глобальным потеплением [13].

Для оценки влияния таких проявлений Южного колебания, как Эль-Ниньо/Ла-Нинья, на циркуляцию обоих полушарий в ходе исследования были рассчитаны корреляционные связи между количеством циклонов и основными характеристиками барических депрессий в обоих полушариях. В качестве исходных данных был взят индекс MEI, который учитывает изменения сразу шести переменных: давления на уровне моря, зональных и меридиональных составляющих приземной скорости ветра, приземной температуры воздуха и балла общей облачности [14]. Южное колебание

(ENSO) является важнейшим сигналом в межгодовой климатической изменчивости в системе «океан – атмосфера». Явление Эль-Ниньо играет важную роль в формировании межгодовой изменчивости климата Южного полушария, а по некоторым исследованиям — всего земного шара [5]. Источником данных о САК, АМО и индексе MEI за каждый месяц, начиная с 1950 г., является Центр прогноза климата национальной администрации по океану и атмосфере [National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA)] [14].

В ходе работы было рассмотрено несколько схем идентификации, обзор которых производился ранее [8]. Ввиду сочетания физической обоснованной и относительной вычислительной простоты предпочтение было отдано методу, разработанному в Лаборатории взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений Института океанологии РАН (ЛВОАМКИ) («Циклон», № 2006612244) [12]. Расчеты площади циклонов, объема переносимого ими приземного воздуха и индекса циклонической активности производились согласно методике, подробно описанной в [9]. Все полученные характеристики циклонических режимов были подвергнуты вейвлет-анализу.

Коэффициенты корреляции между индексами циркуляции атмосферы и основными характеристиками циклонических режимов и оценка их достоверности осуществлялась с помощью t -статистики Стьюдента

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (1)$$

где X_i — текущие значения предиктора; Y_i — текущие значения предиктанта; \bar{X} — среднее значение в рассматриваемый месяц и период наблюдений; \bar{Y} — среднее значение в рассматриваемый месяц и период наблюдений; N — количество лет в выбранном периоде наблюдений.

Достоверность коэффициентов корреляции оценивалась на уровне значимости 99,5 %. Критическое значение коэффициента корреляции рассчитывалось как

$$r_{кр} = \frac{t_{\beta}}{(n - 2 + t_{\beta}^2)^{0,5}}, \quad (2)$$

где $r_{кр}$ — критическое значение коэффициента корреляции; t_{β} — критерий Стьюдента при уровне значимости $(1 - \beta)$; $n - 2$ — число степеней свободы.

Условием объективного анализа многолетних закономерностей является изучение частотной структуры происходящих колебаний. Для исследования полученных временных рядов количества циклонов и индекса циклонической активности на скрытые колебания указанные ряды были подвергнуты вейвлет-анализу, являющемуся мощным средством спектрального анализа динамики системы.

Основным отличием вейвлет-преобразования является разложение данных не по синусоидам (как для преобразования Фурье), а по другим функциям, называемым вейвлет-образующими.

$$\Psi(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) e^{-i(\pi f)t} dt. \quad (3)$$

В данном исследовании в качестве материнского вейвлета использовался вейвлет Морле.

$$\psi(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} e^{i\omega t}. \quad (4)$$

Анализ результатов

В соответствии с очень большим числом исследований одним из самых важных для Северного полушария фактором, влияющим на циркуляцию Северного полушария, является Северо-Атлантическое колебание. В ходе исследования были рассчитаны коэффициенты корреляции для скользящих тридцатилетних периодов между индексом Северо-Атлантического колебания и количеством и глубиной циклонов Северного полушария, а также индексом циклоничности региона.

Коэффициенты корреляции рассчитывались для САК и аномалии глубины циклонов, то есть отрицательный коэффициент корреляции означает, что усиление САК соответствует отрицательным аномалиям глубины циклонов — циклоны углубляются. Как следует из анализа коэффициентов корреляции, такая связь характерна для конца лета и начала осени практически на всей протяженности исследуемого периода, за исключением периода 1965–1990 гг. Такая же зависимость наблюдается в феврале и марте в период с 1965 по 2005 г. и практически исчезает в последние десятилетия. Положительные же связи, когда увеличение САК связано с уменьшением глубины циклонов, наблюдается в начале исследуемого периода зимой (декабрь и январь), а в последние десятилетия и начале лета — май, июнь. Видно, что в течение исследуемого периода дважды произошла смена связей: в 80-е гг. XX в. и в начале XXI в.

В большинстве своём корреляционные связи САК и глубины циклонов Северного полушария статистически незначимы. Таким образом, Северо-Атлантическое колебание не вполне определяет глубину циклонов Северного полушария. По-видимому, масштаб полушария слишком велик для того, чтобы происходящие процессы можно однозначно связать с одним процессом, даже таким значительным, как Северо-Атлантическое колебание. Факторов, определяющих глубину циклонов, может быть несколько. Так, например, влияние на глубину могут оказывать другие центры действия атмосферы или геофизические факторы.

Связи между САК и количеством циклонов выражены сильнее. В последние десятилетия прослеживаются отрицательные коэффициенты корреляции между САК и количеством циклонических ситуаций в холодный период года. Опять весь исследуемый период может быть разделён на два отрезка — до 1980-х гг. и после. В первый период наблюдались сильные прямые связи в летние месяцы, последние же десятилетия все значимые коэффициенты корреляции отрицательны. При этом выявленные значительные

корреляционные связи не означают влияния САК на количество циклонов, и тем более обратного влияния. Скорее всего, существует некий третий процесс, который одновременно влияет и на САК, и на количество циклонов в Северном полушарии. Вполне возможно, что это Атлантическое мульти-декадное колебание (совпадает период колебания) или антропогенный форсинг (совпадает время проявления наблюдаемых тенденций). Таким образом, индекс САК не описывает происходящие в Северном полушарии процессы, его циркуляцию и циклогенез, а потому не может быть единственным достоверным предиктором для прогноза глобальных циркуляционных изменений. Это связано с тем, что влияние САК по-разному проявляется в разных регионах Северного полушария, а в описанных выше расчётах участвовало всё полушарие в целом.

Как уже отмечалось ранее, в последние годы возрос интерес к Южному колебанию и его влиянию не только на процессы в Южном, но и в Северном полушарии. В ходе исследования были рассчитаны коэффициенты корреляции индекса Южного колебания с количеством и глубиной циклонов Южного и Северного полушарий, а также с циклоничностью этого региона.

Анализ показал, что существуют значимые коэффициенты корреляции индекса Южного колебания и глубины циклонов Южного полушария с сентября по ноябрь практически за весь исследуемый период. Кроме того, есть значимая положительная корреляция с января по апрель с начала периода до середины 80-х гг., а также после середины 1990-х гг. в феврале и апреле.

Относительно корреляционной связи между количеством циклонических ситуаций Южного полушария и индекса Южного колебания: в начале периода были отдельные месяцы (май, июнь и декабрь), когда наблюдалась положительная корреляционная связь, однако в 60-х гг. она не прослеживается, но возникла отрицательная корреляция сначала только в марте, а затем практически во все месяцы. Наиболее сильная отрицательная корреляция индекса Южного колебания и количества циклонических ситуаций в последние годы наблюдается в весенние месяцы, с марта по май.

Для циклонической активности Южного полушария и индексом Южного колебания также были найдены статистически значимые положительные коэффициенты корреляции. В начале периода они прослеживались только с января по апрель и с сентября по ноябрь, однако, начиная с конца 70-х гг., начали отмечаться во все месяцы.

Подводя итог, можно сделать вывод, что Южное колебание в последнее время оказывает на циркуляцию Южного полушария все большее влияние, однако корреляционная связь между индексом Южного колебания и глубиной циклонов ослабела, а в некоторые месяцы даже исчезла. При этом по внутренней динамике корреляционных связей можно, как и раньше, выделить два периода: до 1980-х гг. и после. При этом динамика отличается от связей САК и циклонической активности — переход к другому сценарию процессов происходит позже. Это можно сопоставить с антропогенным форсингом, который в Южном, менее индустриально развитом, полушарии проявляется позже.

В ряде исследований показано, что будучи связанной с аналогичными процессами в Карибском бассейне, Южное колебание формирует сложную структуру, определяющую изменение аномалий температуры и, как следствие, циркуляции в средних и высоких широтах обоих полушарий [1, 2, 3, 4]. Южное колебание определяет температуру водной поверхности и регулирует обмен энергией между океаном и атмосферой,

что, в свою очередь, вызывает изменения в обмене энергией между полушариями и в условиях циклогенеза в Северном полушарии. Было интересным установить факт наличия или отсутствия корреляционной связи между индексом Южного колебания и характеристиками циклонов Северного полушария.

В ходе исследования была найдена значимая корреляция между глубиной циклонов Северного полушария и индексом Южного колебания. До середины семидесятых годов с мая по август наблюдалась отрицательная корреляция, затем она исчезла, но на ее место в отдельные месяцы (с января по апрель, в июне, а также с сентября по декабрь) появилась положительная корреляция. Если до 1980-х гг. можно отметить значимую связь в холодный сезон (май – август), и эта связь отрицательная, то позднее наблюдается связь в тёплый и переходный сезоны, и она положительная. Следует отметить, что, как и ранее, наблюдается переход к другим сценариям связей в 1980-х гг. Количество циклонических ситуаций Северного полушария с индексом Южного колебания коррелирует плохо. Положительные корреляционные связи отмечались только в начале периода в ноябре и декабре, в последние годы наметилась отрицательная корреляционная связь для января.

Напротив, циклоническая активность Северного полушария в целом неплохо коррелирует с индексом Южного колебания. Положительные значимые корреляции получены для зимнего и частично летнего периодов Северного полушария во все периоды. В переходные периоды коэффициенты корреляции незначимы. Не наблюдается корреляционных связей с количеством циклонов, но значимы коэффициенты корреляции с глубиной и индексом САИ, и это позволяет сделать вывод о том, что с Южным колебанием связаны аномалии глубины циклонов относительно среднего значения давления в точке.

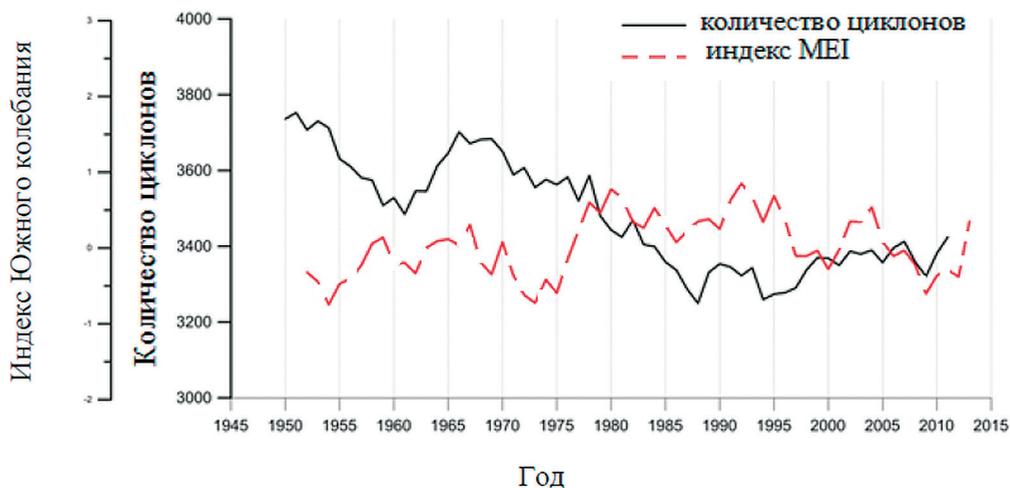
Таким образом, можно сделать вывод, что индекс Южного колебания оказывает влияние не только на циркуляцию Южного, но и Северного полушария.

Анализируя полученные результаты по исследованию связи Южного колебания с циклоническими режимами Северного полушария, можно сделать неожиданный вывод о наличии этой связи. Для проверки результатов были проанализированы совместно временной ход количества циклонов Северного полушария и индекс Южного колебания МЕИ (см. рис.).

В ходе работы была проанализирована связь между Атлантическим мульти-декадным колебанием и характеристиками циклонов Северного полушария. Анализ проводился для сглаженных за три года характеристик циклонической активности, глубины и количества циклонов.

В результате с использованием формул (1)–(3) были выявлены значимые корреляционные связи между индексом АМО и глубиной циклонов. До середины 50-х гг. коэффициенты корреляции, которые значимы практически во все месяцы, положительные, с середины 60-х гг. изменились на отрицательные.

Во временном ходе количества циклонических ситуаций прослеживаются аналогичные закономерности. Здесь в начале периода (до конца 50-х гг.) с сентября по ноябрь прослеживаются значимые положительные корреляционные связи. Значимые отрицательные корреляционные связи здесь стали прослеживаться в июне и июле с конца 60-х гг., к концу десятилетия распространяясь на все месяцы.



Временной ход количества циклонов в Северном полушарии и индекса Южного колебания. На рисунке представлены результаты скользящего осреднения с окном осреднения 5 лет. Видно, что присутствует связь, структура которой менялась несколько раз за исследуемый период — в 1960 и 1975 гг.

С середины 70-х гг. корреляционные связи начали ослабевать, уступая своё место положительным корреляционным связям с марта по май, которые наблюдаются с 80-х гг. по настоящее время.

При корреляционном анализе в циклонической активности получены закономерности, выявленные ранее. В начале периода отмечаются значимые положительные корреляционные связи, особенно сильные в переходные месяцы, с начала 70-х гг. — значимые отрицательные корреляционные связи, которые сначала наблюдались только с апреля по август, а потом распространились и на все зимние и весенние месяцы. Весь исследуемый период может быть разделён на три части согласно внутренней динамике процессов — до 1960-х гг., 1960–1975 гг. и последние десятилетия.

В ходе работы все характеристики циклонов были исследованы на скрытые колебания с использованием вейвлет-анализа. Так, в начале периода (приблизительно до 70-х гг.) в Северном полушарии наблюдались сильные 22-летние колебания, в 50-х, а также с 70-х до 90-х гг. прослеживались колебания с периодом приблизительно 6–7 лет, в последние годы стало усиливаться 4-летнее колебание.

В Южном полушарии были выявлены более слабые колебания, но и здесь в начале периода (приблизительно до 70-х гг.) прослеживается 22-летнее колебание. Кроме того, в начале периода также отмечается колебание с периодом около 6–7 лет, но оно имеет меньшую амплитуду, чем в Северном полушарии и менее продолжительно по времени.

Если говорить о связи выявленных колебаний с какими-либо внутренними или внешними параметрами, то, к сожалению, в рамках исследования невозможно оценить связи климатических изменений со всеми возможными изменениями внешних и внутренних параметров, действующих на земную атмосферу. Однако, по мнению авторов, 22-летние колебание можно объяснить 22-летним циклом солнечной активности,

которое, в свою очередь, состоит из одиннадцатилетних колебаний разных знаков. Признание реальности 22-летнего цикла солнечной активности произошло благодаря американскому астроному Джорджу Эллери Хейлу (George Ellery Hale), который определил, что полярность магнитных полей ведущих (хвостовых) пятен Северного (Южного) полушария Солнца изменяется на противоположную при переходе от одного 11-летнего цикла к другому [7].

Колебание с периодом в 7 лет можно связать с явлением резонанса двух колебаний: магнитных полюсов Земли: с периодом около 14 месяцев и сезонного с периодом 12 месяцев. Первое колебание связано с небольшими колебаниями планеты относительно оси вращения. Магнитные полюсы перемещаются по земной поверхности вокруг среднего полюса в направлении вращения Земли, то есть с запада на восток. Соответственно, эти колебания влияют, прежде всего, на океан. Так как влияние атмосферы на океан проявляется через передачу ему количества движения, а океана на атмосферу — через передачу энергии, то можно предположить, что именно колебания в передаче тепла океаном влияют на образование циклонов. Закручивание и раскручивание траектории полюса объясняется тем, что он совершает два периодических движения: свободное, или чандлеровское (названо в честь открывшего его в 1891 г. С. Чандлера), с периодом около 14 месяцев и вынужденное — с годовым периодом. Чандлеровское движение полюсов возникает, если ось вращения Земли отклонена от оси ее наибольшего момента инерции. Движение полюсов, вызванное действием на Землю периодических сил атмосферы и гидросферы, называется вынужденным. Нетрудно посчитать, что эти колебания совпадают приблизительно раз в семь лет. Сложение этих движений и дает наблюдаемую картину [6].

В ходе работы вейвлет-анализу также подверглись такие характеристики циклонов, как глубина и циклоническая активность.

Как следует из анализа частотно-временных портретов, приблизительно до 70-х гг. наблюдались довольно сильные колебания, период которых составлял от 12 до 30 лет. Наиболее яркие из них можно объяснить влиянием солнечной активности (с периодом в 15, 22 и 24 года). В последние же годы такой силы колебаний не наблюдается. Во весь исследуемый период сильными являются более мелкие колебания. Однако в начале периода в глубине циклонов прослеживались колебания с частотой приблизительно год. Потом они стали менее выраженными и вновь возобновились лишь с конца 70-х гг. Очевидно, что это колебание сезонное и зависит от вращения Земли вокруг Солнца. Интересным здесь является факт, что в последние годы усилилось квазидвухлетнее колебание, которое является одной из наиболее значимых высокочастотных компонент межгодовых собственных колебаний атмосферы и наиболее сильно прослеживается в верхних слоях атмосферы [10].

В частотно-временном портрете глубины циклонов для Южного полушария особенно сильна гармоника с периодом в 15 лет, остальные, более слабые, — с периодом около 12, 17 и 19 лет. Предположительно, эти колебания связаны с влиянием солнечной активности. Если рассмотреть волны с более низкой частотой, то видно, что при присутствии гармоник с периодом в 1 год их интенсивность значительно ниже, чем в Северном полушарии. Кроме того, в начале периода наблюдалось колебание с периодом около 4 лет, в 60-х гг. же заметно влияние 11-летнего колебания.

Выводы

В результате проведённого исследования можно сделать вывод, что по результатам реанализа NCEP/NCAR нет однозначной связи между изменением глобального климата последних десятилетий и характеристиками циклонических режимов. Однако во всех исследованиях выявлено, что в 80-е гг. XX в. произошло изменение в циклонических процессах и в их связях с основными характеристиками циркуляции атмосферы и внешними геофизическими параметрами системы «Земля – океан – атмосфера».

Согласно исследованию, изменение характеристик и количества барических депрессий весьма неоднозначно и зависит от многих факторов. Выявлено, что количество и характеристики циклонов во многом (но не полностью) определяются известными климатическими индексами. Так, процессы в Северном полушарии хорошо коррелируют с изменением величины Атлантической мульти-декадной осцилляции, а в Южном — с Южным колебанием. В результате исследования выявлено, что Атлантическое мульти-декадное колебание, являясь низкочастотной составляющей Северо-Атлантического колебания, лучше описывает происходящие в масштабах полушария процессы, чем само Северо-Атлантическое колебание. Кроме того, установлены корреляционные связи Южного колебания с процессами в Северном полушарии. Эти дальние связи достаточно малы и не периодичны (как и само Южное колебание), но они, безусловно, есть. По мнению автора, существует совместное влияние на циклонические режимы собственных колебаний сложной динамической системы «Земля – океан – атмосфера» и антропогенного форсинга, который частично проявляется через естественные геофизические процессы. В результате исследования выявлены колебания, которые дают основание связать изменения количества и характеристик циклонов с солнечной активностью с собственными колебанием земной атмосферы, а также с колебанием положения магнитных полюсов планеты.

Литература

1. *Бондаренко А.Л., Жмур В.В.* О природе и возможности прогнозирования явления Эль-Ниньо — Ла-Нинья // *Метеорология и гидрология*, 2004, № 11, с. 39–49.
2. *Бышев В.И., Иванов Ю.А., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Склярков В.Е., Щербинин А.Д.* О проявлении эффекта Эль-Ниньо в Индийском океане // *Доклады РАН*, 2008, т. 419 (3), с. 391–396.
3. *Гущина Д.Ю.* Модификация Эль-Ниньо в условиях меняющегося климата: мониторинг, причины, удаленный отклик: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — М., 2014, с. 14–44.
4. *Железнова И.В.* Отклик в система океан-атмосфера на каноническое Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Молоки: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — М., 2015. — 264 с.
5. *Нелепо А.Б., Калашников З.Р., Хунджуга Г.Г.* Энергетика взаимодействия между океаном и атмосферой в зоне действия феномена Эль-Ниньо // *Труды III конф. «Физические проблемы экологии»*, 2002, № 10, с. 118–123.
6. *Сидоренков Н.С.* Нестабильность вращения Земли // *Вестник РАН*, 2004, т. 74, № 8, с. 701–715
7. *Струве О., Линдс Б., Пилланс Э.* Элементарная астрономия. — М: Наука, 1967. — 468 с.
8. *Топтунова О.Н., Анискина О.Г.* Идентификация циклонов по результатам реанализа // *Учёные записки РГГМУ*, 2014, № 37, с. 59–66.
9. *Топтунова О.Н., Анискина О.Г.* Изменения циклонических режимов Северного и Южного полушарий в условиях меняющегося климата // *Научный журнал КубГАУ*, 2015, № 114. IDA: 1141510025.

10. Хайруллина Г.Р. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдения и механизмы формирования. — М.: ИКИ РАН, 2011. — 60 с.
11. Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., Dool H. Vanden, Jenne R., Fiorino M. The NCEP/NCAR 50-year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation // Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, vol. 82, no. 2, pp. 247–267.
12. Zolina O., Gulev S.K. Improving accuracy of mapping cyclone numbers and frequencies // Monthly Weather Review, 2002, vol. 130, pp. 748–759.
13. Единая государственная система об обстановке в Мировом океане, 2015. — Электронный ресурс: [<http://data.oceaninfo.ru>].
14. Поисковый комплекс о характеристиках Земли, 2015. — Электронный ресурс: [<http://www.esrl.noaa.gov/>].
15. Поисковый комплекс об изменениях Земли, 2015. — Электронный ресурс: [<http://oko-planet.su/>].