

Некоторые особенности использования модели WRF-ARW для прогноза перемещений и интенсивности тропических циклонов

**С. А. Петриченко (psa@typhoon.obninsk.ru)
Научно-Производственное объединение "Тайфун" Росгидромета,
г. Обнинск.**

В докладе представлены количественные оценки ошибок прогнозов перемещения и интенсивности ТЦ, сделанные по результатам прогностических расчетов траекторий ряда тропических циклонов сезонов 2017 – 2019 годов для разных вариантов конфигурации модели. Приведены оценки эффективности использования блока внедрения (инициализации) первоначального вихря. Показано, что эффективность использования модели зависит от близости границ внешней расчетной сетки к точке начала счета.

Введение

- Тропические циклоны (ТЦ) относятся к наиболее интенсивным вихрям синоптического масштаба тропической атмосферы, образующимся над поверхностью океана. Скорость ветра в них может превышать 50 м/с.
- В прогнозе траекторий ТЦ в последнее время достигнуты значительные успехи. Прогноз интенсивности – менее развитая область; и результаты прогноза, даваемые различными прогностическими центрами значительно отличаются друг от друга. В последнее время за рубежом стали широко использоваться модели WRF для прогноза интенсивности и перемещения ТЦ [6-8]. Началось применение для этих целей модели WRF NMM и в Дальневосточном регионе России [1].
- Нами использовался "тайфунный" вариант модели WRF – модель ANW (Advanced Hurricane WRF) с динамическим ядром ARW.
- В процессе проведенных ранее работ были получены результаты, необходимые для окончательного формирования рабочей конфигурацией модели ANW, пригодной для тестовых испытаний в оперативном режиме.
- - Был определен ограниченный набор комплектов схем параметризации физических процессов на подсеточном масштабе на базе диагностических расчетов перемещения ТЦ [2].
- - Для более адекватного описания процессов в пограничном и приземном слоях атмосферы, с целью возможного использования рабочей модели не только в тропических, но и в более высоких широтах, было проведено моделирование изменчивости метеопараметров в пограничном слое в средних широтах для большого диапазона рассматриваемых метеоситуаций. Результаты моделирования сравнивались с результатами натуральных наблюдений на высотной метеорологической мачте (ВММ) НПО "Тайфун", что позволило определиться с выбором схем параметризации пограничного и приземного слоев [3].
- - Были проведены прогностические расчеты перемещения большого количества ТЦ с инициализацией первоначального вихря напрямую из данных глобальной модели для отобранных комплектов параметризационных схем. Сделанные по результатам расчетов оценки ошибок прогноза позволили выполнить статистически обеспеченный выбор конфигурации модели ANW для прогнозов перемещения тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана [4].
- - Были проведены работы по сравнению прогнозов перемещения ТЦ, полученных без и с использованием процедуры внедрения первоначального вихря.

Влияние на расчетную траекторию близости границ внешней расчетной сетки к точке начала счета

- Прогноз перемещения тропического циклона не предполагает априорного знания области, на которой придется производить прогностические расчеты. Однако всегда известна начальная точка, координаты центра ТЦ в момент начала прогноза. Это знание позволяет в той или иной мере успешно представлять область прогнозирования ТЦ. Достаточно важен вопрос влияния удаленности границ внешней сетки от точки начала прогноза. Был выполнен ряд модельных расчетов для одного ТЦ с использованием диагностических данных на сетках 3 (внутренняя) – 9 (внешняя) км с целью прояснения этого вопроса. На рисунках 1 – 3 представлены расчетные траектории тайфуна 201705 Noru для одного и того же отрезка реального трека без и с внедрением первоначального вихря для областей интегрирования различной величины. Начало моделирования - стадия развитого тайфуна и дальше переход в стадию заполнения.
- Точка начала движения вихря (координаты точки начала прогноза): 22,8 с.ш., 140,4 в.д.
- На рисунках хорошо видно, что положение начальной точки счета относительно границ внешней сетки (границы внешней сетки указаны в заголовке каждого рисунка) влияет, и достаточно существенно, на модельную траекторию. Можно оценить оптимальное расстояние начальной точки от границ внешней сетки в 6 – 7 градусов. На рисунках также видно, что внедрение первоначального вихря в условиях, когда существует естественный интенсивный циклон, приводит к ухудшению моделирования перемещения ТЦ.

Влияние на расчетную траекторию близости границ внешней расчетной сетки к точке начала счета

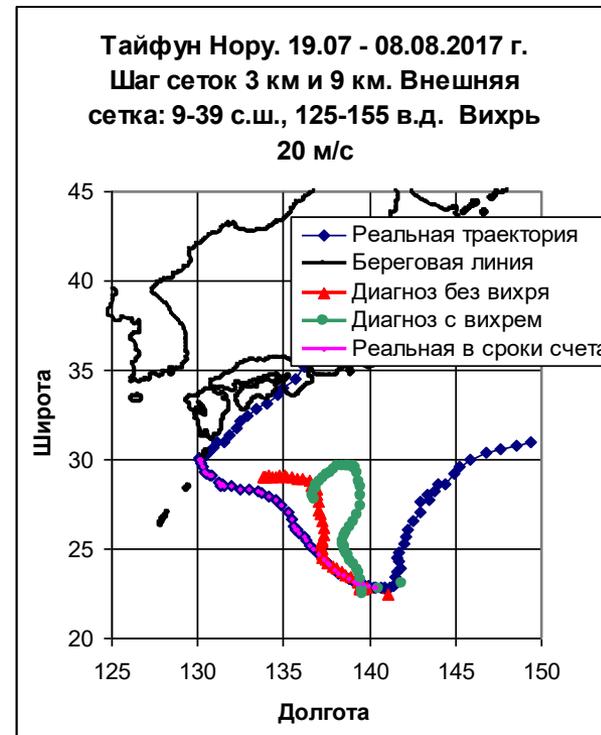
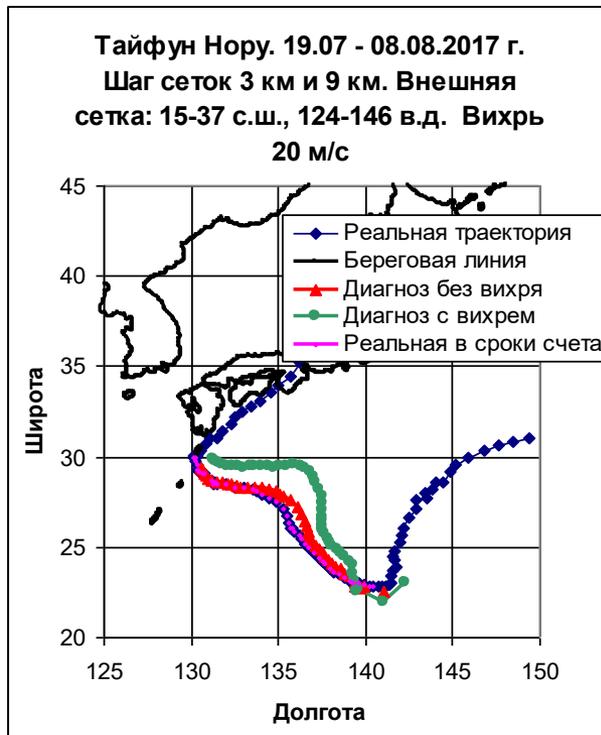
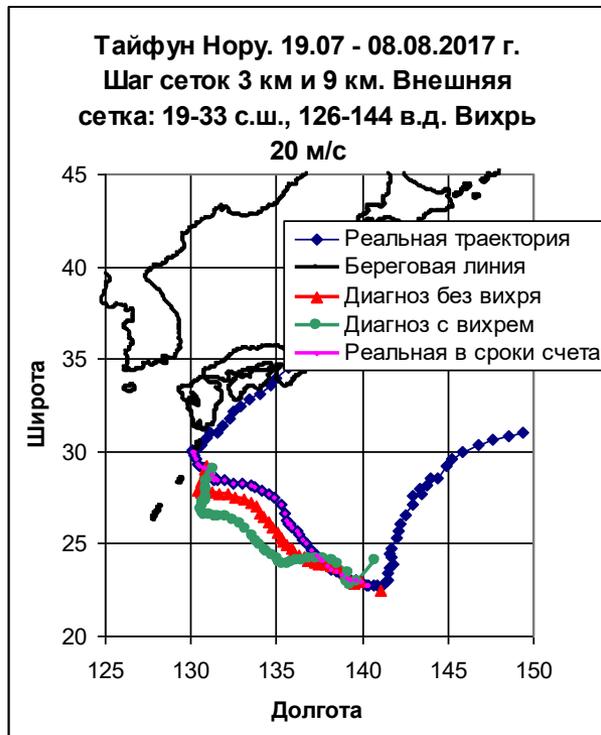


Рисунок 1 – Минимальное расстояние точки начала счета от границ расчетной области.

Рисунок 2 – Среднее расстояние точки начала счета от границ расчетной области.

Рисунок 3 – Максимальное расстояние точки начала счета от границ расчетной области.

Влияние внедрения первоначального вихря на прогноз перемещения при выходе ТЦ в высокие широты

- Поскольку нас в первую очередь интересовали тропические циклоны, затрагивающие в своем перемещении Российский Дальний Восток, то был рассмотрен ряд случаев выхода ТЦ за пределы тропической зоны, севернее 35 градуса северной широты. Было установлено, что достаточно часто встречаются ситуации, когда при выходе ТЦ в более высокие широты (севернее 30 градуса с.ш.) внедрение вихря может существенно ухудшить прогноз перемещения ТЦ. К сожалению, мы не смогли установить причины такого аномального поведения некоторых расчетных траекторий. Ниже представлены примеры таких случаев.
- На рисунках 4 и 5 показаны прогностические траектории тайфуна Конг-Рей (201825 Kong-Rey), рассчитанные для двух участков его перемещения. На рисунке 4 перемещение ТЦ происходит полностью над акваторией южнее 30 градуса северной широты. Все три модельных трека удачно описывают движение реального ТЦ. На рисунке 5 представлен кусок траектории ТЦ, захватывающий и более высокие широты. В этом случае хорошо видно характерное изменение направления перемещения прогностического ТЦ с внедренным первоначальным вихрем после пересечения модельным циклоном тридцать пятого градуса северной широты. Прогностическая траектория, полученная при расчетах без внедрения первоначального вихря, достаточно успешно описывает перемещение реального ТЦ. При расчетах с внедрением первоначального вихря со скоростями 15 м/с и 20 м/с расчетные траектории демонстрируют поворот на 90 градусов влево от направления перемещения реального ТЦ после выхода в высокие широты. К сожалению, как уже упоминалось выше, мы не выяснили причину такого поведения модельных ТЦ при расчетах с внедрением первоначального вихря.

Влияние внедрения первоначального вихря на прогноз перемещения при выходе ТЦ в высокие широты

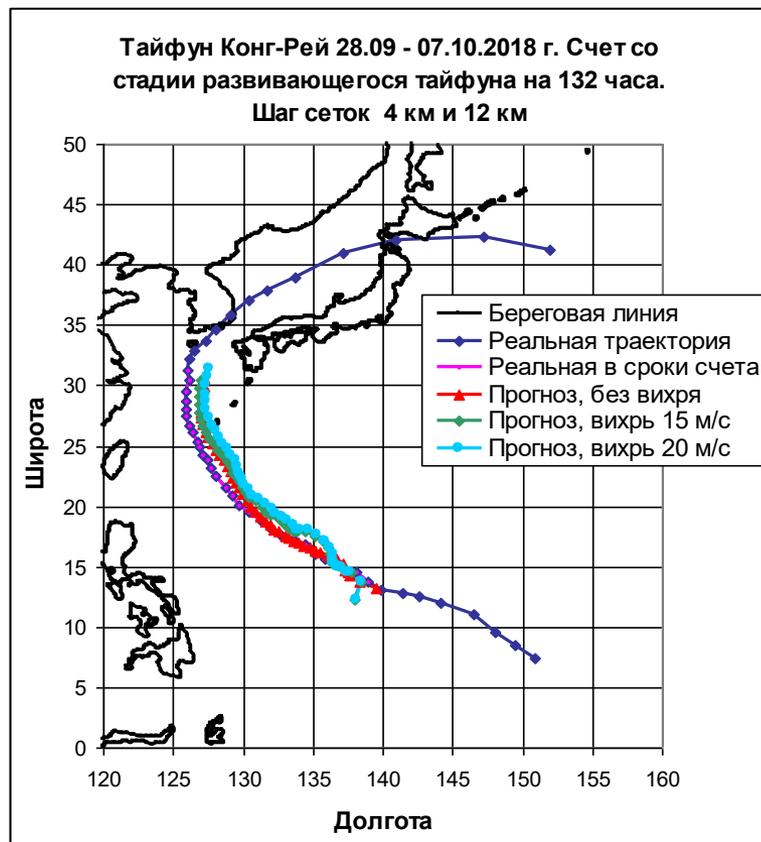


Рисунок 4 - Прогностические траектории тайфуна Конг-Рей южнее 30 градуса северной широты.

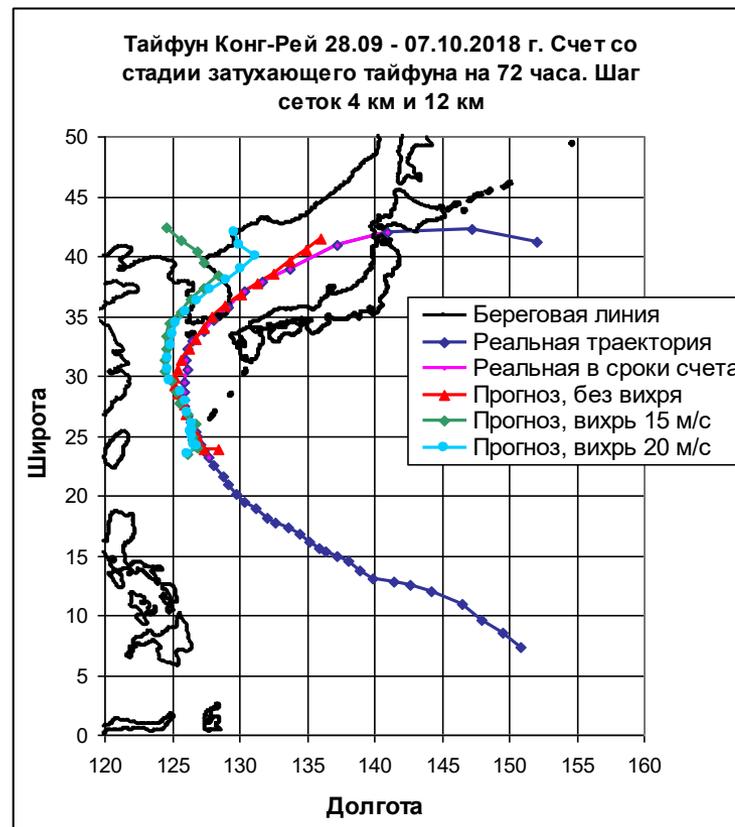


Рисунок 5 - Прогностические траектории тайфуна Конг-Рей захватывающие широты севернее 35 градуса северной широты.

Ошибки прогноза перемещения и интенсивности ТЦ

- При рассмотрении отдельных конкретных тропических циклонов, результатов их модельных расчетов с использованием диагностических или прогностических данных, можно увидеть практически любые варианты прогностических траекторий, более или менее часто повторяющиеся, поэтому относительно объективную оценку применимости конкретной конфигурации модели дает только расчет средних ошибок прогноза. Для этого были рассмотрены все сделанные нами расчеты траекторий ТЦ сезонов 2017 - 2019 годов. Всего в оценках участвовало 11 тропических циклонов, для каждого из которых прогностические и диагностические расчеты проводились несколько раз на разных стадиях их развития независимо от района перемещения. В окончательном варианте ошибки прогноза перемещения и интенсивности вычислялись для модельных циклонов, рассчитанных на сетках 3 – 9 км и 4 – 12 км без и с внедрением первоначального вихря со скоростями 15 и 20 м/с. В качестве реальных данных для каждого ТЦ использовались оценки координат и интенсивности от Японского метеорологического агентства (JMA).
- На рисунке 6 представлены оценки среднего отклонения прогностических траекторий ТЦ от реальных различной заблаговременности для указанных выше сезонов при расчетах на сетках 3 – 9 км. Каждая точка на линиях ошибок, получена при осреднении результатов 20 – 25 прогнозов
- Аналогичные, мало отличающиеся результаты были получены и при расчетах на сетках 4 – 12 км. Как хорошо видно на рисунке в среднем ошибки прогноза перемещения ТЦ для траекторий, полученных без и с внедрением первоначального вихря, примерно одинаковы (необходимо отметить, что участки траекторий с резким изменением направления перемещения после выхода в высокие широты при расчете ошибок не учитывались).

Ошибки прогноза перемещения и интенсивности ТЦ

- Для сравнения на эти рисунки нанесены результаты консенсусного прогноза JTWC (Joint Typhoon Warning Center) для тайфунов 2017 года. Для тайфунов 2018 года итоговый доклад не удалось получить на портале военно-морской океанографии США (Naval Oceanography Portal). Приведенные результаты расчетов позволяют сделать вывод, что при заблаговременности до пяти суток прогноз перемещения ТЦ, сделанный на сформированной нами рабочей конфигурации модели ANW, независимо от района перемещения, не хуже консенсусного прогноза JTWC.
- Необходимо также отметить следующее. Существенный вклад в ошибку прогноза перемещения ТЦ дает качество крупномасштабных прогностических полей, которые используются для расчета граничных условий. Для подтверждения этого, на рисунке 7 приведены оценки среднего отклонения модельных траекторий ТЦ от реальных различной заблаговременности, рассчитанные для тех же ситуаций, что и на рисунке 6 на комплекте сеток 3 – 9 км с использованием для расчета начальных и граничных условий полей объективного анализа вместо прогностических.
- Возрастание ошибок с ростом заблаговременности при использовании в качестве входных диагностических данных можно объяснить уже ошибками самой модели и качеством полей объективного анализа.
- На рисунке 8 показаны оценки среднего отклонения расчетного значения минимального давления от реального для тех же циклонов и ситуаций, которые представлены на рисунке 6. Средняя величина ошибок расчета минимального давления находится на уровне ошибок определения минимального давления в реальных тропических циклонах.

Ошибки прогноза перемещения и интенсивности ТЦ

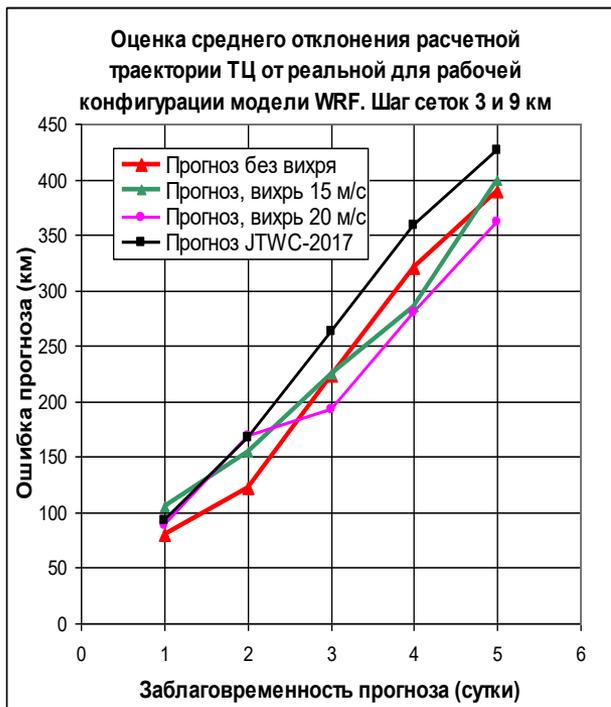


Рисунок 6 – Ошибки прогноза перемещений ТЦ.

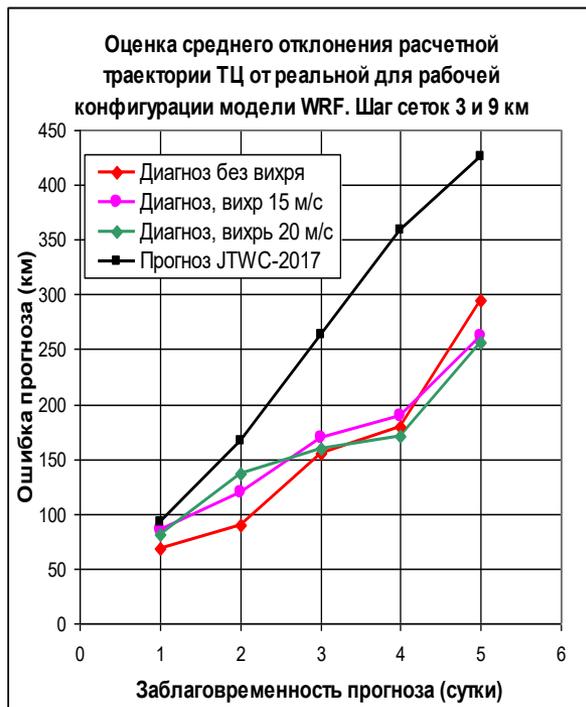


Рисунок 7 – Ошибки квазипрогноза перемещений ТЦ.

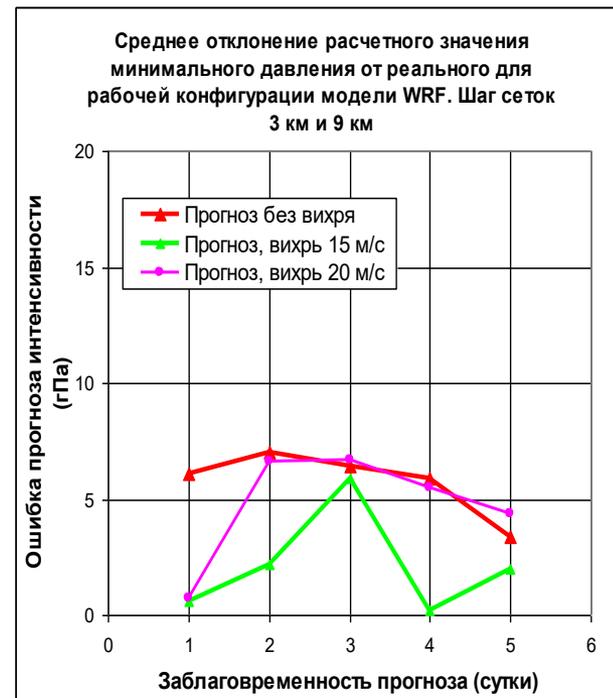


Рисунок 8 – Ошибки прогноза интенсивности ТЦ.

• Резюме

- В результате проведенных работ была сформирована рабочая конфигурация тайфунного варианта модели WRF-ARW (AHW), на которой было проведено значительное количество диагностических и прогностических расчетов реальных тропических циклонов. Показаны некоторые особенности использования модели, например, расстояние начальной точки от границ расчетной области, целесообразность использования процедуры внедрения начального вихря и т.д.
- На основе статистической обработки результатов прогностических расчетов генезиса ТЦ были получены количественные оценки ошибок прогнозов перемещения и интенсивности. Сравнение полученных количественных оценок ошибок прогноза перемещения ТЦ с консенсусным прогнозом JTWC (Joint Typhoon Warning Center) показало, что прогноз перемещения ТЦ, данный на сформированной рабочей конфигурации модели AHW не хуже прогноза JTWC. Мы считаем целесообразным использование апробированной конфигурации модели AHW в реальной оперативной практике.

- **Список литературы**

- 1. Крохин В.В., Баранов Г.Г., Филь А.Ю., Евдокимова Л.И. Оценка предсказуемости перемещения тайфунов моделью WRF – Труды ФГБУ ДВНИГМИ - 2015. – Вып. 155. - С. 204-224.
- 2. Новицкий М.А., Петриченко С.А., Терёб Л.А. Зависимость расчетной траектории тропического циклона северо-западной части Тихого океана от выбора параметризаций физических процессов при использовании модели ANW – Метеорология и гидрология. - 2014. - № 12. - С.17-28.
- 3. Петриченко С.А., Новицкий М.А. Выбор оптимальных схем параметризации пограничного и приземного слоев в модели WRF для прогноза изменчивости метеопараметров в пограничном слое атмосферы – Труды II Всероссийской конференции "Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития". Санкт-Петербург. 19-20 декабря 2018 г. - С-Пб.: ХИМИЗДАТ. - 2018. - С.528-531.
- 4. Петриченко С.А., Новицкий М.А., Терёб Л.А. Использование модели ANW для прогноза перемещения тропических циклонов. – Восточно-Европейский научный журнал. - 2018. - №. 3(31). - Т. 3. - С.34-41.
- 5. Петриченко С.А., Ераньков В.Г. Сравнительный анализ прогноза перемещения тропического циклона с помощью модели ANW с использованием процедуры внедрения первоначального вихря и без нее. – Материалы международной научной конференции "Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов". Ростов-на-Дону. 13-23 июня 2019 г. – Изд. ЮНЦ РАН. – 2019. – С. 86-89.
- 6. Davis C. et al. Prediction and landfalling hurricanes with the Advanced Hurricane WRF Model – Monthly Weather Review - 2008. - Vol. 136. – P.1990-2004.
- 7. Pu Zh., Li X., Zipser E.J. Diagnosis of the initial and forecast errors in the numerical simulation of the rapid intensification of hurricane Emily (2005) – Weather and Forecasting – 2009. - Vol. 24. – P.1236-1251.
- 8. Vijay Tallapragada. Expansion of NCEP Operational Hurricane Weather Research and Forecast Model Forecast Guidance to all Global Tropical Cyclones. – 2015 International Workshop on Typhoon and Flood – APEC Experience Sharing on Hazardous Weather Events and Risk Management. 27-29 May, 2015, Taipei, Taiwan. Handbook. – P. 103.