Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Масловой Вероники Николаевны

«ИЗМЕНЕНИЕ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЧЕРНОМОРСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ», представленную на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.18. «Науки об атмосфере и климате»

Актуальность темы

Диссертация Масловой В.Н. представляет собой комплексное и методически выверенное исследование, выполненное на стыке климатологии, синоптической метеорологии и практического применения. Выбор темы исключительно актуален в контексте глобальных климатических изменений и возрастающей уязвимости прибрежных регионов, к которым относится и юг России. Автор ставит и успешно решает фундаментальную задачу по выявлению закономерностей и драйверов изменчивости ключевого погодообразующего фактора – циклонической активности. Работа отличается новизной, практической ориентированностью и использованием продвинутых современных методов статистического многомерного анализа, полностью соответствуя критериям докторской диссертации.

Краткая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы (487 наименований) и двух приложений. Работа изложена на 370 страницах машинописного текста, содержит 89 рисунков и 20 таблиц. Структура диссертации логична и полностью соответствует поставленным цели и задачам.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов.

Глава 1 посвящена аналитическому обзору. Автор не просто систематизирует огромный массив отечественных и зарубежных исследований, но и четко аргументирует существующий пробел в знаниях, который призвана заполнить данная диссертация: отсутствие комплексного анализа изменчивости циклонов разной интенсивности с выходом на практические приложения. Детальное описание массивов данных (NCEP/NCAR, ERA-5, CMIP6) и методов (от классической статистики до нейросетей) закладывает основу для собственных исследований. Рисунки, представленные в главе (схема строения циклона, карта регионов, гистограмма сравнения методик), информативны и хорошо дополняют текст, делая сложные описания более наглядными. Подробно рассматриваются основные климатические сигналы (моды) различного масштаба: межгодовые (ЭНЮК, САК, ВАК, Скандинавское, EA/WR и др.) и междесятилетние (АМО, ТДО). Важно, что автор не ограничивается простым перечислением, а показывает физические механизмы их влияния на атмосферную циркуляцию, шторм-треки и, в конечном итоге, на циклоническую активность. Особо ценно обсуждение взаимодействия разномасштабных сигналов (например, модуляции САК фазами АМО) и роли атмосферных телеконнекций в передаче влияния удаленных океанических процессов. Автором детально охарактеризованы особенности регионального циклогенеза, сезонность механизмов образования циклонов, а также специфика «южных», атлантических и «ныряющих» циклонов, выходящих на Черное море. Проведен тщательный обзор исследований, посвященных связи параметров циклонов в регионе с различными климатическими

индексами. Отмечено, что большинство работ посвящены либо общей частоте циклонов, либо отдельным экстремальным событиям, тогда как изменчивость именно интенсивных (глубоких) циклонов, представляющих наибольшую опасность, изучена недостаточно. Использование двух методик идентификации и трекинга циклонов: базовой по М.Ю. Бардина, апробированной в международном проекте IMILAST и дополнительной (разработанной в ИПТС) повышает надежность результатов. При этом отмечено, что вторая методика (ИПТС) позволяет выделять более мелкие циклоны. Было бы интересно узнать, какова доля таких локальных циклонов в общей изменчивости и насколько их учет влияет на оценки трендов и связей с климатическими индексами. **К недочетам** можно отнести относительно краткое обсуждение ограничений, связанных с пространственным разрешением основных используемых данных (2.5°), для выявления мезомасштабных процессов, характерных для региона.

Глава 2 посвящена климатическому анализу циклонической активности. На основе оригинальных расчетов автор дает характеристику параметров циклонов, выявляя региональные различия: повышенную активность и меньшую изменчивость в Западном Средиземноморье, наибольшую амплитуду годового хода на востоке и максимальную дисперсию в Черноморском регионе. Автор не ограничивается рассмотрением только циклонов, но вводит индекс циклоничности, объединяющий частоту и глубину как циклонов, так и антициклонов. Это дает целостную картину барического режима региона. Последующее разделение на общую и глубокую циклоническую активность (по квантилям 0,75 и 0,95) позволяет выделить климатически значимую часть спектра циклонов, непосредственно связанную с опасными явлениями. Обнаружены отрицательные тренды частоты циклонов в Черноморском регионе зимой и весной, а также положительные тренды площади и глубины циклонов осенью во всем регионе. Особый интерес представляют противоположные тенденции для глубоких циклонов: в Черноморском регионе они уменьшаются зимой–весной, а в Восточном Средиземноморье возрастают осенью. Значимый результат – доказательство преобладания низкочастотной (междесятилетней) изменчивости над межгодовой, особенно зимой, и установление связи режимов с фазами Тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО).

Глава 3 и 4 формируют основу работы. Здесь автор использует широкий арсенал статистических методов (корреляционный, композитный, спектральный анализ, ЭОФ) для выявления связей региональной циклонической активности с глобальными процессами. Ключевые достижения исследований в этих главах: 1) Количественная оценка вклада различных климатических сигналов (САК, ЭНЮК, АМО, ТДО, региональных индексов) в изменчивость циклонов; 2) Выявление статистически значимых различий в отклике на восточный и центральный типы Эль-Ниньо/Ла-Нинья – результат, обладающий научной новизной; 3) Построение обобщенных схем формирования аномалий, что является важным инструментом для качественного прогноза.

В главе 3 анализ ограничен синхронными связями (что логично для выделения мод). В главе 4 автор вводит обширный материал по асинхронным связям (Приложение А), но в основном тексте эти результаты часто лишь упоминаются, а не интерпретируются. Например, почему отклик на тихоокеанские сигналы (PNA, WP) часто имеет задержку 2–3 или 9–10 месяцев? Механизмы этих задержек (время распространения волн Россби, инерционность океана) не обсуждаются, хотя глава 3 давала для этого хорошую основу (анализ потоков тепла, ветров). Многим работам такого рода характерно преобладание статистических связей над глубоким анализом физических механизмов атмосферных дальних связей, обеспечивающих удаленное влияние, например, Тихого океана.

Глава 5 Пятая глава является ключевой с точки зрения практической реализации полученных теоретических результатов. Она содержит два крупных блока: сезонное

прогнозирование на основе нейросетевого моделирования и оценки будущих изменений по сценариям CMIP6. Разработка и успешная апробация модели на основе искусственной нейронной сети для сезонного прогноза частоты интенсивных циклонов с заблаговременностью до 6 месяцев является результатом, имеющим прямое практическое значение. Перед непосредственным моделированием автор проводит скрупулезный анализ ранжированных коэффициентов детерминации для всех трех регионов (Черное море, Западное и Восточное Средиземноморье) по сезонам и месяцам. Это позволяет не просто "скормить" нейросети случайным набором индексов, а обоснованно подойти к выбору входных параметров. Показано, что набор значимых предикторов меняется от месяца к месяцу, что оправдывает использование самообучающейся модели с автоматическим подбором. Использование искусственных нейронных сетей для сезонного прогноза в условиях, когда линейные методы дают ограниченные результаты (из-за нелинейности связей и разного набора предикторов), является методологически верным решением. Автор не просто применяет "черный ящик", а описывает архитектуру сети (персептрон с одним скрытым слоем), алгоритм обучения (обратное распространение ошибки) и процедуру отбора наиболее устойчивых генераций (ансамблевый подход). Модель тестируется на независимой контрольной выборке (2007–2017 гг.), что является стандартом проверки прогностических моделей. Использование диаграмм Тейлора позволяет одновременно оценить три параметра: корреляцию, стандартное отклонение и среднеквадратичную ошибку. Введение порогового значения корреляции (0,45 при p=0,01) для признания прогноза достоверным повышает строгость оценки. Модель позволяет выпускать прогноз с заблаговременностью 2, 4 и 6 месяцев, что соответствует выявленным в главе 4 временным лагам в проявлении климатических сигналов. Особенно интересен результат для Черноморского региона, где модель с заблаговременностью 6 месяцев показала результаты не хуже, а иногда и лучше, чем с меньшей заблаговременностью. Автор связывает это с типичным временем запаздывания отклика на ЭНЮК (около 6 месяцев), что свидетельствует о физической интерпретируемости модели. Моделирование проведено отдельно для трех регионов, и результаты существенно различаются. Например, для Западного Средиземноморья лучшие результаты получены для января, февраля, апреля, мая и октября; для Восточного — для большинства месяцев с сентября по май, но с ограничениями по заблаговременности. Это подтверждает выводы главы 4 о разных механизмах формирования циклонической активности в разных частях региона. Автор не пытается приукрасить результаты, а открыто указывает на месяцы, где прогноз неудовлетворителен (например, декабрь-январь для Черного моря из-за недостаточного набора предикторов, июль-август из-за редкости событий). Также отмечена проблема недооценки экстремумов и необходимость расширения обучающей выборки. **Стоит обратить внимание**, что при ограниченной длине обучающей выборки (28 лет) и большом количестве потенциальных комбинаций предикторов риск переобучения высок. Автор пытается бороться с этим, отбирая 20 наиболее устойчивых генераций, но не приводит анализ устойчивости результатов к изменению разбиения выборки. Использование только фиксированного разбиения на обучающую, тестовую и контрольную выборки может давать слишком оптимистичные оценки.

Не менее важны полученные проекции на XXI век с использованием ансамбля моделей CMIP6. Автор обоснованно показывает значительное (более 50%) снижение зимней циклонической активности к концу века и смещение траекторий. **Замечание** касается относительно небольшого числа моделей CMIP6 (8 из 41), использованных для построения ансамбля, что может влиять на оценку неопределенности, хотя критерии отбора автором четко прописаны.

Глава 6 Шестая глава является логическим завершением диссертации, демонстрируя, как фундаментальные знания о закономерностях циклонической активности могут быть использованы для решения конкретных практических задач в таких критически важных для

юга России сферах, как безопасность мореплавания, сельское хозяйство и рекреационный потенциал. Результаты, полученные в предыдущих главах (спектры изменчивости, связи с климатическими индексами, типы циркуляции), имеют прикладное значение, и автор не просто декларирует эту связь, а подробно разбирает конкретные примеры. Композитный анализ для четырех типов штормов с высотой волн ≥5 м – это сильный и наглядный результат. Карты траекторий, центров циклонов и полей давления четко показывают, как положение глубокого циклона определяет тип шторма на северном побережье Черного моря. Раздел демонстрирует сотрудничество с профильными научными институтами (виноградарство, ботанический сад), что усиливает практическую значимость. Анализ урожайности проведен не изолированно, а в связке с изменчивостью циклонов (рис. 6.8), климатическими индексами и даже с речным стоком. Вывод о том, что современные климатические условия стали менее благоприятными для виноградарства, имеет важное значение для планирования в этой отрасли. Применение индексов (эквивалентно-эффективная температура, весовое содержание кислорода и др.) для оценки рекреационного потенциала – современный и корректный подход. Связь экстремальных значений этих индексов с фазами САК и ВАК (и, соответственно, с циклонической активностью) показана на примере ключевых курортов (Ялта, Сочи) и визуализирована с помощью карт шторм-треков. Это дает инструмент для оценки перспективности курортов в разные климатические эпохи. Глава насыщена информативными рисунками и таблицами, которые хорошо иллюстрируют текст.

Преимуществом результатов данной главы являются междисциплинарность и конкретность выводов для юга России. При этом три раздела главы (шторма, сельское хозяйство, курорты) связаны общей идеей, но выглядят как три самостоятельных исследования. Отсутствует единый синтезирующий раздел, который бы обобщил, как знание о циклонической активности может быть использовано для *комплексного* устойчивого развития региона, учитывающего все эти аспекты одновременно.

В **Заключении** диссертации в обобщенном виде представлены основные результаты исследования.

Новизна исследования и полученных результатов.

Автором впервые выполнено комплексное исследование, позволившее установить фундаментальные закономерности изменчивости циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе. К числу наиболее значимых новых результатов можно отнести:

1. Впервые получены уточненные климатические характеристики и долгопериодные тренды параметров общей и глубокой циклонической активности в трех ключевых субрегионах, включая оценки спектрального состава их изменчивости.
2. Разработаны обобщенные схемы формирования аномалий циклонической активности в зависимости от фазы 15 основных межгодовых и междесятилетних климатических сигналов, что позволяет объяснить до 75% дисперсии исследуемых характеристик.
3. Впервые выявлены статистически значимые различия в отклике частоты интенсивных циклонов на различные типы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья (восточный и центральный).
4. Создана и успешно апробирована нейросетевая модель, позволяющая осуществлять сезонный прогноз частоты интенсивных циклонов на основе комплекса глобальных климатических индексов с заблаговременностью до 6 месяцев.

5. Впервые получены региональные проекции изменений зимней циклонической активности на середину и конец XXI века по ансамблю моделей CMIP6 с учетом различных сценариев антропогенного воздействия.

6. Установлены и количественно оценены связи изменчивости циклонической активности с ветро-волновыми аномалиями, урожайностью агрокультур и биоклиматическими условиями на курортах юга России.

Научно-практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории климата, а именно в углублении понимания механизмов формирования региональных климатических аномалий под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера. Установленные закономерности вносят существенный вклад в изучение регионального циклогенеза и его чувствительности к естественным и антропогенным факторам.

Практическая значимость работы несомненна. Полученные результаты могут быть использованы:

- в оперативной практике гидрометеорологических служб для совершенствования методов сезонного прогнозирования погодно-климатических аномалий;
- при стратегическом планировании развития приморских территорий, в портовом хозяйстве и морском транспорте для оценки штормовых рисков;
- в агропромышленном комплексе юга России для долгосрочного планирования структуры посевных площадей с учетом климатически обусловленных колебаний урожайности;
- в санаторно-курортной сфере для оценки и прогноза рекреационно-климатического потенциала;
- в учебном процессе высших учебных заведений при подготовке специалистов в области географии, метеорологии и климатологии.

Результаты работы получены в рамках ряда государственных заданий и проектов РФФИ, что подтверждает их востребованность на государственном уровне.

Автореферат и 25 опубликованных научных работ (включая 16 статей в изданиях из списка ВАК и 8 — в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus) полностью отражают основное содержание диссертации.

Замечания и рекомендации.

При общей высокой положительной оценке диссертации следует высказать ряд замечаний и пожеланий:

1. В разделе 1.2 подробно описываются южные, атлантические и ныряющие циклоны. Однако при переходе к методической части основное внимание уделяется алгоритмам выделения всех циклонов без их классификации. Остается не до конца ясным, как в дальнейшем будет учитываться природа циклона (местный или пришлый) при анализе связей с климатическими сигналами. Будет ли, например, связь с тем же САК одинаковой для всех типов?

2. Для большего убеждения в репрезентативности выявленных закономерностей для интенсивных, часто мезомасштабных циклонов, в будущем хорошо бы провести

сравнительный анализ ключевых выводов по данным реанализа ERA-5 (0.25°) высокого разрешения за доступный период.

3. В дальнейших исследованиях целесообразно дополнить корреляционный анализ аналитикой конкретных физических механизмов (например, через анализ потоков тепла, потенциальной завихренности или волновой активности), связывающих фазы климатических индексов с аномалиями циклогенеза в регионе.

4. При представлении результатов CMIP6 было бы полезно явно количественно оценить и обсудить разброс (расхождение) между отдельными моделями ансамбля, особенно для таких чувствительных параметров, как смещение траекторий.

5. В некоторых выводах (напр., «суммарный вклад достигает 75%») для строгости следовало бы добавить указание на доверительные интервалы или оговорить, что это оценка на основе использованной модели и набора предикторов.

6. В Главе 6, посвященной прикладным аспектам, представлены ценные результаты связи циклонической активности с биоклиматическими индексами. Однако при анализе рис. 9 (многолетний ход эквивалентно-эффективной температуры в Ялте) и сделанного вывода о расширении туристического сезона было бы уместно упомянуть, за счет каких именно месяцев (осенних или весенних) происходит это расширение и насколько оно статистически значимо.

7. В тексте встречаются отдельные стилистические, оформительские погрешности и опечатки, не влияющие на общее высокое качество работы.
   - Например, «харакетрных» вместо «характерных» на стр. 35
   - «Сборно-кинематические карты» то пишется слитно, то через дефис.
   - В таблице 1.1 определение MERRA дано на английском без перевода, в то время как для других аббревиатур перевод есть.
   - На рис. 2.10, 2.11 подписи осей отсутствуют.
   - В таблице 1 на стр. 14 автореферата в заголовке допущена опечатка: «циклионической» вместо «циклонической».

   и др.

Сделанные замечания носят частный характер и не затрагивают основные положения, выводы и результаты, представленные в диссертации.

Общая оценка и заключение по диссертационному исследованию.

Представленная диссертация Масловой Вероники Николаевны является законченным, самостоятельным и качественным научным исследованием и соответствует пунктам 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями в редакции постановлений Правительства Российской Федерации № 335 от 21.04.2016 г., № 748 от 02.08.2016 г., № 650 от 29.05.2017 г., № 1024 от 28.08.2017 г., № 1168 от 01.10.2018 г.). Автор продемонстрировал глубокое владение темой, высочайшую методологическую культуру и способность решать сложные комплексные задачи. Несомненные научные достижения, теоретическая и практическая ценность работы, ее соответствие всем критериям, предъявляемым к докторским диссертациям, позволяют сделать вывод, что диссертация Масловой Вероники Николаевны заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.18. «Науки об атмосфере и климате».

Официальный оппонент,
доктор географических наук,

заместитель директора ФГБУ «Гидрометцентр России»

Хан Валентина Моисеевна

17.02.2026

Адрес места работы:
Федеральное государственное бюджетное учреждение
"ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ"
123376, Россия, Москва, Большой Предтеченский переулок, д.13, строение 1
https://meteoinfo.ru/
+74992523448
E-mail: valentina_khan2000@yahoo.com

Я, Хан Валентина Моисеевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Хан Валентина Моисеевна

Подпись В.М. Хан заверяю.

Начальник отдела кадров

ФГБУ «Гидрометцентр России» О.П. Иноземцева