Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт природно-технических систем»

На правах рукописи

Маслова Вероника Николаевна

ИЗМЕНЕНИЕ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЧЕРНОМОРСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
доктора географических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Институт природно-технических систем»

Научный консультант:
доктор географических наук, профессор **Воскресенская Елена Николаевна**

Официальные оппоненты:
Семёнов Сергей Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»

Хан Валентина Моисеевна, доктор географических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации»

Крупчатников Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (КФУ)

Защита состоится «20» марта 2026 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.1.049.03 на базе ФГБУН Институт географии Российской академии наук по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ФГБУН Институт географии Российской академии наук и на сайте организации http://igras.ru/defences.

Автореферат разослан « »_____ 2025 года.

Отзыв на автореферат (на бумажном носителе в одном экземпляре, заверенный подписью и печатью, и в электронном виде в формате PDF) просим направлять по адресу 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, ученому секретарю Диссертационного совета 24.1.049.03, Титковой Т.Б. e-mail: d00204604@igras.ru

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат географических наук Т.Б. Титкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Неопределенность в изменениях природной среды и климата является одной из главных проблем современности. Важная роль при этом отводится антропогенной и естественной составляющим в наблюдаемых изменениях климата. Это справедливо для разных климатических параметров, включая циклоническую активность.

Глобальный и региональный климат характеризуется квазипериодическими колебаниями от нескольких лет до десятилетий, а также изменениями, которые могут относиться как к более низкочастотной изменчивости, так и к однонаправленным тенденциям [Alexandersson et al., 2000; Bilgili, Tokmakci, 2025; Chen, Xu, 2020; Kucharski et al., 2016; McCabe, Clark, Serreze, 2001; Rimbu, Lohmann, Ionita, 2014; Semenov, 2024; Voskresenskaya, Polonsky, 1993]. При этом квазипериодическая изменчивость глобальной климатической системы, которая вызывается обратными связями в системе взаимодействия атмосферы с океаном, представляет естественные процессы формирования климатических аномалий [Alpert et al., 2006; Franzke et al., 2020; Hurrell, Deser, 2010; Voskresenskaya, Polonsky, 1998]. Однонаправленные тренды связывают с глобальным антропогенным потеплением климата [Торопов, Алешина, Семенов, 2018; Bardin, Samokhina, 2025; Feng, Fu, 2013]. При этом важным звеном в передаче влияния океана на региональный климат являются циклоны [Caian et al., 2021].

В свою очередь, с изменчивостью циклонической активности связаны как погодно-климатические аномалии, так и средние климатические условия [Воскресенская, Наумова, 2006; Матишов, Титов, 2023; Baltacı, Akkoyunlu, Tayanç, 2018; Blöschl et al., 2020; Cherchi et al., 2019; Haylock, Goodess, 2004; Krug et al., 2022; Nissenbaum et al., 2023; Owen et al., 2021; Valkaniotis et al., 2022]. Как известно, в умеренных широтах в холодный период года, когда происходит обострение межширотных градиентов температуры, именно циклоническая деятельность (как эволюция циклонов и антициклонов на главных атмосферных фронтах в рамках единого механизма) определяет характер общей циркуляции атмосферы [Хромов, Петросянц, 2006; Flaounas et al., 2022]. Будущие изменения циклонической активности на разных временных масштабах важно оценивать для адаптации к изменениям климата и смягчения их последствий [Хан, Вильфанд, 2025; Chang, Guo, Xia, 2012; Eichler, Gaggini, Pan, 2013; Khodayar et al., 2025; Priestley, Catto, 2022]. Таким образом, циклоническая активность в настоящем и будущем климате является комплексной характеристикой изменения гидрометеопараметров синоптического масштаба в холодный период года и важной характеристикой климатической системы.

В Северном полушарии выделяют два основных центра циклонической активности, расположенные над северной частью Тихого океана и Северной Атлантикой. В то же время Средиземноморский регион также характеризуется активным региональным циклогенезом [Ulbrich, Leckebusch, Pinto, 2009]. Это особенно важно для Черноморского региона, для которого около 70% циклонической

активности обусловлено выходами южных (средиземноморских) циклонов [Воскресенская, Наумова, 2006].

Достижения отечественных ученых внесли существенный вклад в изучение разных аспектов циклонической активности как на глобальном, так и на региональном уровне [Акперов, 2012; Акперов, Мохов, 2013; Бардин, 1994; Бардин, 1995; Нестеров, 2018; Полонский, Бардин, Воскресенская, 2007; Топтунова, 2016; Rudeva, Gulev, 2011; Tilinina et al., 2013; Zolina, Gulev, 2002]. Следует при этом отметить одну из двух отечественных методик [Бардин, 1994; Zolina, Gulev, 2002], которые успешно участвовали в международном проекте сравнения алгоритмов обнаружения и отслеживания внетропических циклонов IMILAST [Neu et al., 2013]. Это методика, разработанная М.Ю. Бардиным [Бардин, 1994], которая используется в настоящей работе. Среди работ зарубежных ученых, посвященных исследованию циклонов [Harvey et al., 2012; Hochman et al., 2020; Hoskins, Hodges, 2002; Pinto et al., 2007; Raible et al., 2021; Simmonds, Burke, Keay, 2008; Sinclair et al., 2020], в контексте настоящего исследования следует отдельно указать те, в которых изучается Черноморско-Средиземноморский регион [Campins et al., 2011; Flaounas et al., 2022; Guijarro, Jansà, Campins, 2006; Jansa et al., 2014; Kotsias et al., 2023; Lionello et al., 2006; Trigo, Davies, Bigg, 1999].

Несмотря на внушительный объем работ по изучению циклонов, специальных исследований закономерностей изменчивости и будущих изменений циклонической активности разной интенсивности для Черноморско-Средиземноморского региона на масштабах от межгодового до междесятилетнего ранее не проводилось. Не выполнялся также и последующий анализ возможностей практического использования установленных фундаментальных закономерностей. Проведению таких исследований посвящена настоящая работа.

Целью настоящей работы является установление закономерностей пространственно-временной изменчивости аномалий циклонической активности разной интенсивности в Черноморско-Средиземноморском регионе под влиянием крупномасштабных процессов в глобальной системе океан–атмосфера и антропогенных факторов для последующего прогнозирования и использования полученных результатов при решении прикладных задач, направленных на обеспечение перспективного планирования и устойчивого развития юга России.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи:**

1. Получить новые знания о климатических особенностях естественной изменчивости и непериодических (антропогенных) изменениях циклонической активности разной интенсивности.

2. Установить закономерности межгодовой-междесятилетней изменчивости характеристик циклонической активности разной интенсивности в Черноморско-Средиземноморском регионе в связи с глобальными климатическими процессами.

3. Показать возможность сезонного прогнозирования изменчивости аномалий среднемесячной частоты интенсивных циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе на основе нейросетевого моделирования и с использованием в

качестве предикторов индексов квазипериодических процессов в системе океан–атмосфера.

4. Получить оценки наиболее вероятных изменений циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе под влиянием антропогенного потепления до конца XXI века на основе сценарных расчетов современных глобальных климатических моделей.

5. Выявить региональные особенности временной изменчивости ветро-волновых аномалий, урожайности агрокультур, рекреационной привлекательности курортов и других принципиально важных параметров, определяющих эффективность функционирования погодозависимых отраслей народного хозяйства в Черноморском регионе, в связи с установленными закономерностями климатических аномалий циклонической активности.

Объект исследования – циклоническая активность в Черноморско-Средиземноморском регионе.

Предмет исследования – современная и будущая межгодовая-междесятилетняя изменчивость параметров циклонов разной интенсивности в Черноморско-Средиземноморском регионе и ее проявления в природно-климатических аномалиях.

Предмет защиты: решение крупной научной проблемы по установлению закономерностей и прогнозированию изменений циклонической активности разной интенсивности в Черноморско-Средиземноморском регионе в связи с глобальными процессами в системе океан-атмосфера и антропогенными факторами для обеспечения стратегического развития народнохозяйственного комплекса юга России.

Используемые данные и методы исследования

Циклоны и их параметры выделены с использованием методик объективной идентификации и трекинга барических образований на основе массивов 6-часовых данных (0, 6, 12 и 18 UTC) реанализа NCEP/NCAR с разрешением 2,5°×2,5° по геопотенциальной высоте 1000 гПа и 500 гПа за период 1948–2017 годов. Одна из методик разработана М.Ю. Бардиным в Институте глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, другая – коллективом авторов в Институте природно-технических систем (ИПТС). Для сравнительных и уточняющих оценок привлекались более детальные по пространству данные реанализов ERA-5 (с разрешением 0.25°×0.25°) и 20-го столетия 20CR (с разрешением 75 км) за период 2000–2014 гг. Массивы параметров циклонов в XXI веке (за период 2000–2100 гг.) получены по сценарным расчетам ансамбля семи моделей CMIP6.

Для анализа закономерностей естественной квазипериодической изменчивости циклонической активности привлекались индексы межгодовых и десятилетних-междесятилетних климатических сигналов. Вклад антропогенного тренда учитывался по сценариям с умеренным (SSP2-4.5) и наибольшим (SSP5-8.5) уровнем антропогенных выбросов парниковых газов в ансамбле моделей последнего поколения CMIP6. Для сезонного прогноза аномалий среднемесячной частоты интенсивных циклонов использовалась модель на основе искусственной нейронной сети, разработанная в Институте природно-технических систем.

Для верификации полученных массивов многолетних данных параметров циклонов и проведения прикладных исследований использовались сборно-кинематические карты за 1951–1996 гг., данные наблюдений на гидрометеорологических станциях, включая характеристики ветра и волнения, за период 1895–2009 гг., временные ряды урожайности агрокультур за 1945–2006 гг., карты Атласа траекторий внетропических циклонов за 1961–1998 гг. с веб-страницы NASA GISS (http://data.giss.nasa.gov/stormtracks/, дата обращения 21 октября 2025 года), данные интерактивного сайта NOAA для получения обобщённых и композитных характеристик по реанализу NCEP/NCAR (http://www.esrl.noaa.gov/psd/, дата обращения 21 октября 2025 года).

Анализ пространственно-временных аномалий климатических параметров, их изменений и прогнозирования проводился с использованием методов математической статистики: спектрального, корреляционного, регрессионного, композитного анализа, ЭОФ-анализа и нейросетевого моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Повторяемость глубоких циклонов в Черноморском регионе уменьшается в зимне-весенний период с 1948 г. по 2017 г. В то же время в Восточном Средиземноморье повторяемость глубоких циклонов возрастает осенью и сопровождается увеличением площади и глубины/интенсивности общей циклонической активности. В квазипериодической изменчивости частоты глубоких циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе преобладает межгодовой масштаб, однако вклад более низкочастотной составляющей достигает 60% дисперсии зимних интенсивных циклонов в Черноморском регионе.

2. Закономерности формирования аномалий циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе связаны с разными фазами основных межгодовых-междесятилетних сигналов в системе океан–атмосфера, суммарный вклад которых достигает 75% изменчивости, и укладываются в обобщенные схемы, впервые предложенные в настоящей работе.

3. Использование модели на основе искусственных нейронных сетей обеспечивает возможность ретроспективного сезонного прогнозирования среднемесячной частоты интенсивных циклонов с заблаговременностью до 6 месяцев при условии привлечения комплекса индексов глобальных климатических сигналов в качестве предикторов.

4. Возможные будущие изменения климата к середине и концу XXI века по ансамблю моделей CMIP6 в сценариях наиболее вероятных антропогенных выбросов в Черноморско-Средиземноморском регионе проявятся в понижении зимней циклонической активности более чем на 50%. При этом ожидается смещение средних траекторий циклонов на 1,5°–2,5° к северо-востоку над Западным Средиземноморьем и к югу над Восточным Средиземноморьем.

5. Практическое применение новых знаний о межгодовой-междесятилетней изменчивости циклонической активности в изучаемом регионе позволит решать важные прикладные задачи по развитию юга России. Это подтверждено выявленными закономерностями изменчивости ветро-волновых (штормовых) аномалий, урожайности агрокультур и биоклиматической привлекательности черноморских

курортов и их количественными оценками в связи с глобальными процессами в системе океан–атмосфера, формирующими циклоническую активность.

Научная новизна

1. Впервые изучены особенности межгодовой-междесятилетней изменчивости и долговременных изменений глубоких циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе.

2. Впервые получены схемы формирования аномалий циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе в связи со сменой фаз межгодовых-междесятилетних климатических процессов над Атлантико-Европейским сектором.

3. Впервые выявлены и описаны на статистически значимом уровне аномалии частоты интенсивных циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе, соответствующие событиям Эль-Ниньо и Ла-Нинья восточного и центрального типов.

4. Впервые получен успешный ретроспективный сезонный прогноз среднемесячной частоты интенсивных циклонов с заблаговременностью до 6 месяцев с использованием модели на основе искусственных нейронных сетей, в которой предикторами служит набор индексов глобальных климатических сигналов.

5. Впервые получены региональные оценки изменения циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе в середине и конце XXI по ансамблю моделей CMIP6 в сценариях со средним (SSP2-4.5) и наибольшим (SSP5-8.5) уровнем антропогенных выбросов парниковых газов.

6. Впервые установлена связь штормов разных типов в северной части Черного моря с положением глубоких циклонов, получены количественные оценки межгодовой-междесятилетней изменчивости урожайности агрокультур и биоклиматической привлекательности курортов юга России с учетом циклонической активности.

Практическая значимость

Полученные результаты позволяют решать широкий спектр народно-хозяйственных задач, обеспечивающих устойчивое развитие и снижение рисков негативных последствий как на юге России, так и во всем Черноморско-Средиземноморском регионе. Выявленные закономерности важны, прежде всего, для улучшения методов прогноза погодно-климатических аномалий, а также для совершенствования климатических моделей. В частности, они свидетельствуют о необходимости учета вклада глобальных и региональных климатических колебаний в моделях прогнозирования циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе.

Полученные оценки климатических величин параметров циклонической активности, включая интенсивную, в Черноморско-Средиземноморском регионе, их тренды и закономерности изменчивости на межгодовом, десятилетнем-междесятилетнем масштабах могут быть использованы для решения прикладных задач при планировании регионального развития. Показана реальная возможность использования полученных фундаментальных закономерностей для минимизации рисков, связанных со штормовой активностью, перспективного планирования в

аграрном секторе и рационального использования рекреационно-климатического потенциала курортов. Полученные результаты важно учитывать при подготовке практических рекомендаций заинтересованным ведомствам и организациям по вопросам развития приморских территорий, безаварийной работы морского транспорта, портов и инженерных сооружений и в целом для стратегического планирования в регионе Черного и Средиземного морей.

В то же время полученные знания позволят усовершенствовать специализированные учебные курсы лекций и практических занятий ВУЗов географического и гидрометеорологического профиля.

Достоверность и обоснованность результатов исследования

Достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием многолетних массивов параметров циклонов, суммарно покрывающих период 1950–2100 гг., полученных с использованием данных реанализов NCEP/NCAR, ERA-5 и CR20, а также на основе ансамбля моделей CMIP6. Пригодность данных реанализов для исследования синоптических процессов с характерными горизонтальными масштабами порядка 1000 км подтверждена результатами международных специализированных исследований. Необходимое качество массивов параметров циклонов, полученных по разным данным, показано на основе их взаимного сравнения и сопоставления с результатами анализа сборно-кинематических карт метеонаблюдений. Результаты моделей CMIP6 верифицировались по данным реанализов NCEP/NCAR и ERA5 за современный исторический период с 2000 по 2014 год.

Обоснованность результатов диссертации базируется на использовании апробированных методик расчета параметров циклонов с подтвержденным качеством и применении стандартных методов математической статистики: спектрального, корреляционного, регрессионного, композитного анализа.

Обоснованность сезонного прогноза и проекций циклонической активности на XXI век базируются на применении программ, разработанных в Институте природно-технических систем и прошедших государственную регистрацию.

Результаты, положенные в основу диссертационной работы, были получены в рамках следующих научных программ и проектов: государственных заданий рег. № 124013000609-2, рег. № 121122300072-3, рег. № АААА-А19-119031490078-9, рег. № АААА-А17-117021310101-2, проектов РФФИ под руководством автора (№ 18-45-920068, № 16-35-00186) и проектов РФФИ при участии автора (№ 14-45-01579, № 14-45-01517).

Личный вклад автора

Диссертационная работа является результатом обобщения исследований, выполненных в период с 2012 по 2024 гг. автором лично или в соавторстве с сотрудниками Института природно-технических систем и коллегами из других российских научных организаций.

Основные положения, выносимые на защиту, сформулированы автором лично и опубликованы в обобщающих работах по теме диссертации. В публикациях по исследованию связи межгодовых-междесятилетних изменений циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе с глобальными

климатическими процессами, выполненных в соавторстве с Е.Н. Воскресенской, автор принимала паритетное участие в постановке задач, анализе и обсуждении результатов и формулировке выводов.

Авторство основной используемой методики выделения циклонов принадлежит М.Ю. Бардину (Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля – ИГКЭ), а дополнительной методики, разработанной в Институте природно-технических систем, – В.Ю. Журавскому и В.П. Евстигнееву (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021662858 от 06.08.2021 г., № 2021666926 от 21.10.2021 г.). Авторство модели сезонного прогноза на основе искусственной нейронной сети, разработанной в Институте природно-технических систем, принадлежит А.С. Лубкову (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668360 от 15.11.2021 г.). Программа для ансамблевых оценок барических образований в XXI веке по моделям CMIP6 разработана также в Институте природно-технических систем В.Ю. Журавским и А.С. Лубковым (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023610168 от 09.01.2023 г.).

Часть результатов, касающихся практического приложения полученных фундаментальных результатов, выполнена совместно с сотрудниками Севастопольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН», ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», ГБУЗ РК «Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации имени И.М. Сеченова».

Апробация работы

Автором опубликовано 25 научных работ; среди них 16 – в изданиях, включенных в список ВАК, 8 – в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus, и 2 – в атласах-монографиях.

Результаты исследования по диссертационной работе были представлены на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях. Это, в частности, международная научно-практическая конференция по экологии и вопросам изменения климата «ICECC 2025» (2025 г.), ежегодная научная конференция МГУ «Ломоносовские чтения» (2024 г.), международная конференция «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат–2023» (2023 г.), «Mediterranean CLImate VARiability and predictability conference. Climate change in the Mediterranean region: lessons learned and new perspectives from regional to local scales» (2022 г.), environment workshop «Future, risks and impacts of intense mediterranean cyclones» (2022 г.), международная научно-исследовательская конференция «Эмиссия парниковых газов сегодня и в геологическом прошлом: источники, влияние на климат и окружающую среду (GREG 2022)» (2022 г.), «3rd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG)» (2020 г.), международная научно-техническая конференция «Системы контроля окружающей среды» (2015–2025 гг.), всероссийская научно-практическая школа-конференция «Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их

охрана» (2020 г.), международная научно-практическая конференция «Инновации в геологии, геофизике и географии» (2019 г.). научно-практическая школа-конференция «Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана» (2018 г.), молодежная научная конференция «Морские исследования и рациональное природопользование» (2018 г.), «3rd International Conference on Environment and Sustainable Development of Territories – Ecological Challenges of the 21st Century (2017 г.)», всероссийская конференция «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы» (2017 г.), «European Geosciences UnionGeneral Assembly 2014» (2014 г.).

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения. Список литературы насчитывает 487 наименований. Работа содержит 370 страниц компьютерного текста, включая 89 рисунков и 20 таблиц, а также приложения А и Б на 28 стр.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту доктору географических наук, профессору Елене Николаевне Воскресенской за внимание, поддержку и конструктивные рекомендации при выполнении данного исследования. Также автор считает своим долгом выразить искреннюю признательность доктору географических наук, члену-корреспонденту РАН, профессору А.Б. Полонскому и всем соавторам, коллегам из лаборатории крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и изменений климата ИПТС.

Автор искренне благодарна заведующему отделом мониторинга и вероятностного прогноза климата ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля» М.Ю. Бардину за многолетнее сотрудничество.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** кратко приводятся актуальность работы, цель и задачи работы, объект и предмет исследований, используемые данные и методы исследования, выносимые на защиту положения, научная новизна, практическая значимость, достоверность и обоснованность результатов исследования, перечень научных программ и проектов, в рамках которых выполнялась работа, личный вклад автора, апробация работы, структура и объем работы и благодарности.

В **Главе 1** приводится выполненный по материалам литературных источников анализ современного состояния исследований изменчивости и изменений климата на глобальном и региональном масштабах, который выявил факт отсутствия комплексной характеристики закономерностей изменчивости аномалий циклонической активности под влиянием естественных и антропогенных факторов. Отмечена необходимость специальных исследований в этом направлении для оценки характеристик изменчивости и будущих изменений циклонической активности разной интенсивности, особенно для Черноморско-Средиземноморского региона.

В этой же главе дана подробная характеристика данных и методов исследования необходимых для выполнения настоящей работы. Для получения параметров циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе были использованы ежедневные четырёхсрочные данные барического поля нижней и средней тропосферы (геопотециальная высота на уровне 1000 гПа и 500 гПа, приземное атмосферное давление) реанализа NCEP/NCAR с привлечением более детальных (по пространству) данных реанализов ERA-5 и 20-го столетия (20CR).

Контроль качества используемых в работе методик обнаружения и отслеживания циклонов (разработанных в ИГКЭ Бардиным М.Ю. и в ИПТС) показал хорошее согласование их между собой по определению центров циклонов (максимальная повторяемость отклонений 25 км) и соответствие результатам натурных наблюдений (на сборно-кинематических картах) по многолетнему ходу (коэффициент корреляции $r = 0{,}9$). Алгоритмы методик определяют барические образования по локальным минимумам (или максимумам) в узлах сетки поля геопотенциальной высоты/давления, ограниченным замкнутыми изолиниями. При этом учитывались циклоны с временем жизни от 48 ч.

Временные ряды (месячные, сезонные и годовые) параметров циклонов (частоты/повторяемости, площади, глубины/интенсивности) анализировались для трех регионов (**рис. 1**):

1) Черноморский регион, 37°–50° с.ш., 27°–45° в.д.; ~2,07 млн км^2;

2) Западное Средиземноморье, 35°–47° с.ш., 6° з.д.–16° в.д.; 2,43 млн км^2;

3) Восточное Средиземноморье, 29°–41° с.ш., 16°–38° в.д.; 2,64 млн км^2.

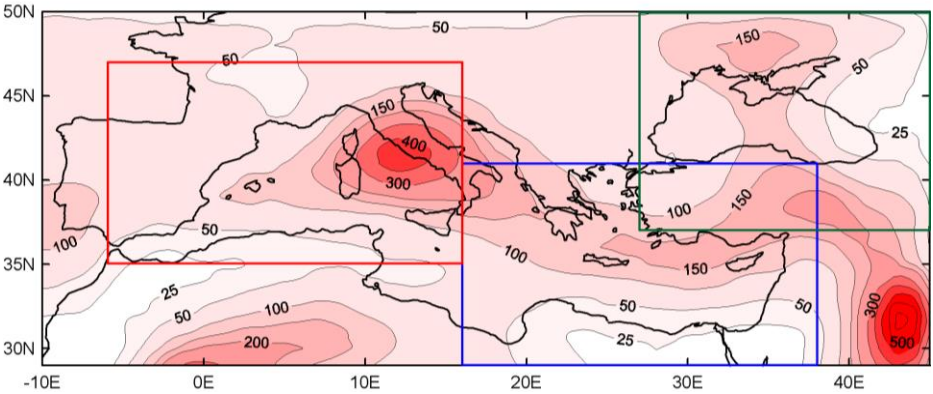


Рисунок 1 – Суммарное количество центров локальных барических минимумов за период 1951–2017 гг. по 6-часовым данным (красная затенение) и границы изучаемых регионов: Черноморский регион (зеленым); Западное Средиземноморье (красным); Восточное Средиземноморье (синим)

Частота циклонов (относительная безразмерная величина) рассчитывалась как количество центров циклонов, обнаруженное в заданном регионе за определенный период, к общему числу проанализированных случаев (количеству дней в

периоде, умноженному на 4 срока). Для более наглядной характеристики повторяемости циклонов были посчитаны суммы дней с циклонами. Глубина циклонов в данной работе определялась как разность геопотенциальной высоты/давления между найденным минимумом в узле сетки и значением на внешней ограничивающей изогипсе. Интенсивность циклона представляет собой отношение объема циклона (интеграла глубины) к его площади. Площадь циклона определялась в пределах фигуры, ограниченной последней замкнутой изолинией. Дополнительно в работе проанализирована частота глубоких циклонов, превышающих порог, определенный с помощью метода квантилей (процентилей), по глубине или интенсивности (0,75 и 0,95 квантили).

Для анализа временных рядов и полей исследуемых характеристик использованы стандартные статистические методы: спектральный, композитный, корреляционный, ЭОФ анализ. Долгосрочный прогноз частоты циклонов под влиянием межгодовых-междесятилетних климатических колебаний выполнен с помощью разработанной в ИПТС и апробированной модели на основе метода нейронных сетей. Проекции циклонической активности на XXI век в условиях антропогенного глобального потепления получены по ансамблю моделей проекта новейшего поколения CMIP6 в сценариях максимального (SSP5-8.5) и среднего (SSP2-4.5) уровней антропогенных выбросов.

Использование данных глобальных реанализов, апробированных методик обнаружения и отслеживания циклонов, традиционных методов статистического анализа и современного моделирования обеспечивают надежность и достоверность полученных в работе результатов.

Глава 2 посвящена рассмотрению условий совместной циклонической и антициклонической активности для Черноморского региона, средних многолетних величин параметров циклонов (частоты/повторяемости, площади и глубины/интенсивности) в Черноморском регионе, Западном и Восточном Средиземноморье. Отдельно проанализирована частота глубоких циклонов 0,75 и 0,95 квантилей по глубине/интенсивности, называемых интенсивными и экстремальными циклонами, соответственно. В ходе анализа по данным за 70 лет (1948–2017 гг.) рассмотрены особенности годового хода и сезонных изменений исследуемых параметров, их многолетней изменчивости и линейных трендов, а для частоты глубоких циклонов также и спектральных характеристик.

Анализ индекса циклоничности, как суммарной характеристики, обобщающей частоту и глубину циклонов и антициклонов, показал, что периоды преобладания циклонических и антициклонических условий чередуются на междесятилетнем мастабе. Антициклонические условия характеризуются большей длительностью периодов, а циклонические условия – большей интенсивностью. Зимой и весной в отрицательную фазу Тихоокеанской декадной осцилляции (60–70-е гг. XX века) в Черноморском регионе преобладают циклонические условия, а в положительную фазу (50-е гг., 80–90-е гг. XX века) – антициклонические, причем циклонические условия в 3 раза более интенсивные.

Сравнение общей и интенсивной (превышающей 0,75/0,95 квантили по интенсивности) циклонической активности в Черноморском регионе, Западном и

Восточном Средиземноморье позволило получить следующие результаты. Обнаружено, что максимальные среднегодовые величины и минимальная амплитуда годового хода параметров циклонов характерны для Западного Средиземноморья (**рис. 2**). Особенностью Восточного Средиземноморья является наибольшая амплитуда годового хода параметров циклонов, а Черноморского региона – наибольшая дисперсия среднегодовых величин частоты и глубины циклонов. При этом максимальная повторяемость циклонов в Средиземноморском регионе приходится на зиму, а в Черноморском регионе на весну (апрель). Средняя годовая частота интенсивных и экстремальных циклонов выше в Западном Средиземноморье (**рис. 2*а***), при этом в холодные месяцы (с декабря по март) повторяемость циклонов выше в Восточном Средиземноморье (**рис. 2*б***).

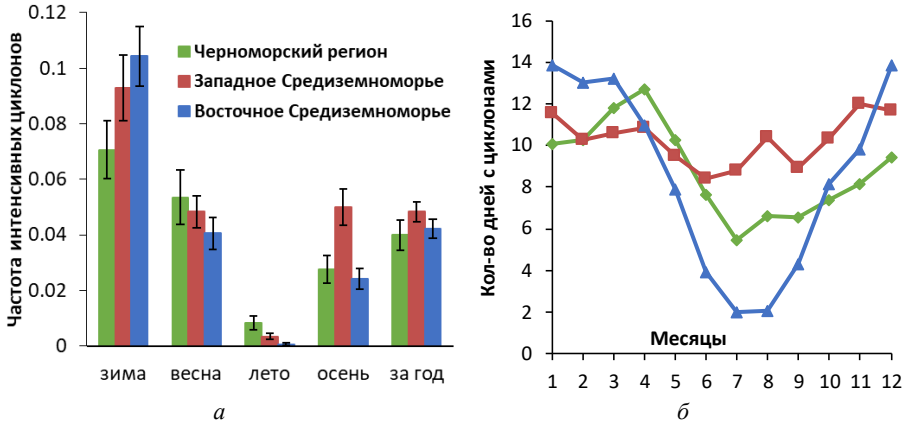


Рисунок 2 – Годовой ход повторяемости циклонов по месяцам и сезонам в Черноморском регионе (зеленым), Западном Средиземноморье (красным) и Восточном Средиземноморье (синим): (а) частота интенсивных циклонов 0,75 квантиля (относительная безразмерная величина); (б) количество дней с циклонами

Выявлены значимые линейные тренды (**табл. 1**), объясняющие 5–10% изменчивости в период 1948–2017 гг.: отрицательные для повторяемости циклонов во всём регионе весной, а в Черноморском регионе зимой и весной, и положительные для площади и глубины/интенсивности циклонов осенью. При этом линейные тренды частоты глубоких циклонов в Черноморском регионе повторяют отрицательный тренд частоты общей циклонической активности зимой (циклоны 0,75 и 0,95 квантилей) и весной (циклоны 0,75 квантиля). В Восточном Средиземноморье, напротив, выделяется положительный линейный тренд частоты глубоких циклонов (0,75 и 0,95 квантилей) осенью.

Показано, что в многолетнем ходе частоты глубоких циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе преобладает межгодовой масштаб на периодах 2–7 лет, соответствующих типичным периодам основных глобальных климатических процессов межгодового масштаба: Североатлантического колебания и Эль-

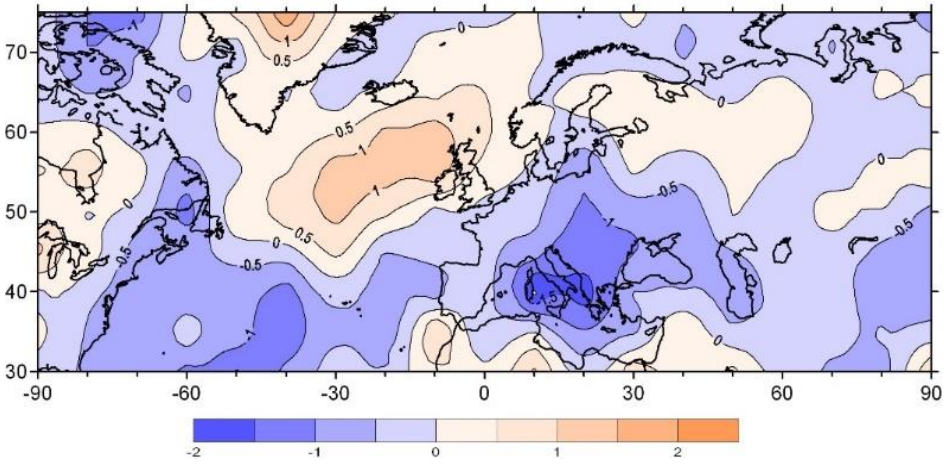
Ниньо–Южного колебания. В то же время вклад более низкочастотной составляющей (десятилетней-междесятилетней и предполагаемой вековой изменчивости, выраженной линейным трендом) достигает 60% дисперсии зимних интенсивных циклонов в Черноморском регионе, из которой 50% дисперсии приходится на периоды 20–30 лет, соответствующие Атлантической мультидекадной осцилляции и Тихоокеанской декадной осцилляции.

Таблица 1 – Коэффициенты линейных трендов параметров циклонической активности в Черноморском регионе (ЧР), Западном Средиземноморье (ЗСМ) и Восточном Средиземноморье (ВСМ), в скобках – доверительный уровень значимости (%)

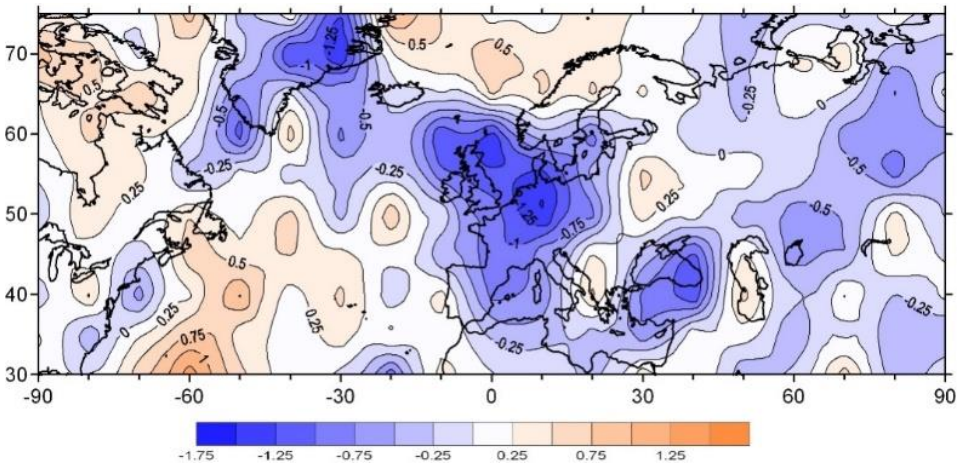
Регион	Сезон / год	Частота, $\times10^{-3}$	Дни с циклонами	Площадь, $\times10^{-3}$	Глубина, $\times10^{-3}$	Интенсивность, $\times10^{-3}$	Частота интенсивных, $\times10^{-3}$	Частота экстремальн., $\times10^{-3}$
ЧР	зима	−2 (99)	−0,26 (99,9)				−0,68 (95)	−0,19 (90)
	весна	−2 (99)	−0,27 (99,9)				−0,61 (95)	
	лето	+0,4 (80)						
	осень	−0,6 (80)	−0,13 (90)	+5 (99)	+174 (99)	+18 (90)		
	год	−1 (95)	−0,63 (99)			+21 (90)	−0,31 (95)	−0,06 (90)
ЗСМ	зима							
	весна	−0,5 (80)	−0,11 (95)					
	лето			−1 (80)	−45 (95)	−19 (95)		
	осень			+3 (80)	+75 (80)	+24 (80)		
	год		−0,17 (90)					
ВСМ	зима							
	весна		−0,07 (80)				−0,21 (85)	
	лето			+0,5	−37 (90)	−14 (80)		
	осень			+3 (99)	+89 (95)	+34 (99)	+0,13 (80)	+0,05 (90)
	год							+0,05 (80)

В **Главе 3** проблема естественной межгодовой-междесятилетней изменчивости циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе рассматривается в масштабах циклонической активности всего Атлантико-Европейского региона. Для межгодового масштаба рассмотрена связь трех ведущих мод разложения на ЭОФ параметров североатлантических циклонов с основными глобальными климатическими процессами Северного полушария соответствующего масштаба (7 сигналов).

Показано, что первые моды разложения на ЭОФ параметров зимних циклонов в Атлантико-Европейском регионе представляют собой аномалии циклонов противоположных знаков в северной и южной/центральной частях Северной Атлантики и связаны преимущественно с Североатлантическим и Арктическим колебаниями. Вторые (**рис. 3**) и третьи моды характеризуется наибольшими региональными аномалиями в циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе и обусловлены в основном Восточным Атлантическим колебанием, колебанием Восточная Атлантика / Западная Россия и Скандинавским колебанием (**табл. 2**).



а



б

Рисунок 3 – Аномалии параметров циклонов (с.к.о.) для вторых мод ЭОФ (*а*) частоты и (*б*) площади зимних североатлантических циклонов

Суммарный вклад комплекса рассмотренных глобальных климатических процессов (7 межгодовых сигналов) объясняет более 80% дисперсии первой моды частоты циклонов, более 60% – первой моды глубины, а также площади циклонов и более 50% дисперсии второй и третьей моды частоты циклонов в Атлантико-Европейском регионе (**табл. 2**).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции для зимнего сезона между временными коэффициентами трех ведущих мод (pc1, pc2, pc3) частоты, глубины и площади циклонов (*f*, *d* и *a*, соответственно) и индексами основных климатических сигналов: Североатлантическое колебание (САК), Североатлантическое колебание по станционным данным (САК-ст), Арктическое колебание (АК), колебание Восточная Атлантика / Западная Россия (ВА/ЗР), Скандинавское колебание (СКАНД), Восточноатлантическое колебание (ВАК), Полярное / Евразийское колебание (ПОЛ/ЕВР), колебание Тропики / Северное полушарие (ТСП). Значимость коэффициентов выделена цветом *. R_{mult} – коэффициент множественной регрессии; R^2, % – коэффициент детерминации (доля объясненной дисперсии, связанной с индексами, коэффициенты для которых выделены цветом); R^2_{norm}, % – нормализованный R^2

Индекс	***f*-pc1**	***d*-pc1**	***a*-pc1**	***f*-pc2**	***d*-pc2**	***a*-pc2**	***f*-pc3**	***d*-pc3**	***a*-pc3**
САК	0,78	-0,78	-0,76	0,16	-0,03	-0,17	0,18	0,12	-0,09
САК-ст	0,87	-0,76	-0,78	0,13	-0,03	-0,16	0,30	0,08	-0,12
АК	0,82	-0,69	-0,74	0,24	-0,06	-0,14	-0,12	0,10	0,04
ВА/ЗР	0,21	-0,17	-0,19	0,00	-0,10	0,02	-0,47	0,01	0,26
СКАНД	-0,33	0,29	0,23	-0,06	0,11	-0,06	0,42	0,11	-0,06
ВАК	-0,14	0,08	-0,11	0,64	-0,17	-0,02	0,28	0,41	-0,09
ПОЛ/ЕВР	0,09	0,12	0,10	-0,18	-0,02	-0,01	-0,25	-0,04	0,20
ТСП	0,20	-0,21	-0,39	0,30	-0,07	-0,08	0,13	0,29	-0,18
R_{mult}	0,92	0,79	0,81	0,69			0,73	0,48	0,27
R^2, %	**84,4**	**62,4**	**65,4**	47,5			**53**	22,6	6,7
R^2_{norm}, %	**83,1**	**59,9**	**63,1**	44,9			49,3	20	6

* 90% 95% 99% 99,9%

На междесятилетнем масштабе исследованы проявления Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО) и Тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО) в комплексе параметров климатической системы Атлантико-Европейского региона, определяющих фоновые условия циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе.

Выявлено, что циклоническая активность в Черноморско-Средиземноморском регионе усиливается в положительную фазу АМО и отрицательную фазу ТДО в связи со смещением на юг североатлантических шторм-треков и струйного течения (**рис. 4**), приуроченного к положительным аномалиям потоков тепла с поверхности океана. Западный атмосферный перенос из Северной Атлантики в Средиземное море в отрицательную фазу ТДО смещается в южном направлении и вызывает более выраженные региональные проявления в циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе, чем во время положительной фазы АМО.

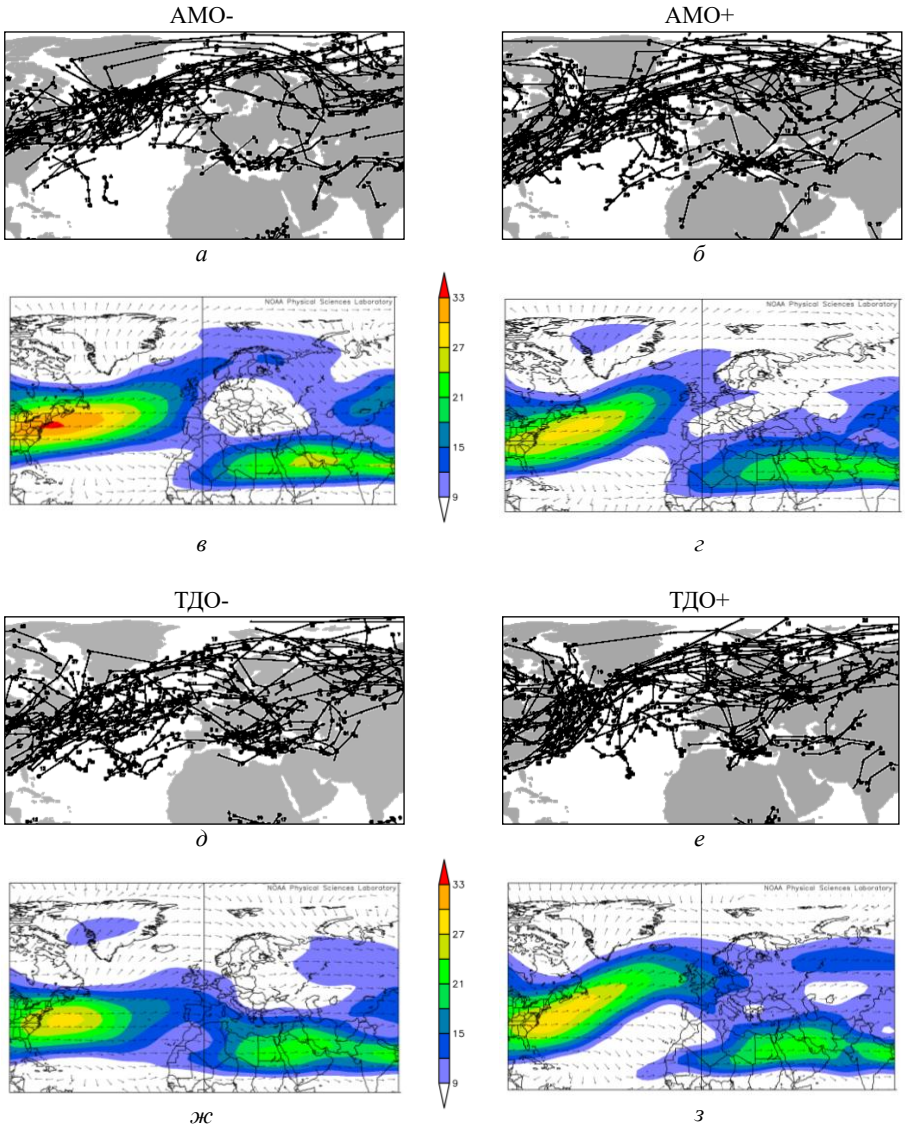


Рисунок 4 – Суммарные шторм-треки (*а*, *б* и *д*, *е*) и поле ветра на 500 гПа (*в*, *г* и *ж*, *з*) в январе при минимальном индексе АМО (АМО-) в 1971–1975 гг. (*а*, *в*) и максимальном индексе АМО (АМО+) в 2006–2010 гг. (в 1994–1998 гг. для шторм-треков) (*б*, *г*); при минимальном индексе ТДО (ТДО-) в 1966–1970 гг. (*д*, *ж*) и максимальном индексе ТДО (ТДО+) в 1981–1985 гг. (*е*, *з*). Аномалии рассчитаны по отношению к средним величинам за 1948–2016 гг.

В **Главе 4** проведен анализ закономерностей проявлений всех основных глобальных климатических процессов Северного полушария межгодового масштаба (13 сигналов) в циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе. Получены средние траектории циклонов для противоположных фаз климатических сигналов. Результаты представлены в виде обобщенных схем аномалий циклонической активности. В частоте интенсивных циклонов (0,75 квантиля) исследованы проявления событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья центрального и восточного типов. Отдельно проанализированы региональные особенности десятилетней-междесятилетней изменчивости циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе (2 сигнала).

Наибольший отклик на межгодовые колебания в частоте циклонов в Черноморском регионе, как и во всем Атлантико-Европейском регионе (**рис. 5**), соответствует Арктическому колебанию (или Арктической осцилляции, Северополушарной кольцевой моде), которое характеризуется сильной корреляцией с Североатлантическим колебанием благодаря общим центрам действия атмосферы. В положительную фазу Арктического колебания происходит формирование штормтрека южной ветви североатлантических циклонов к западу-юго-западу от Средиземного моря.

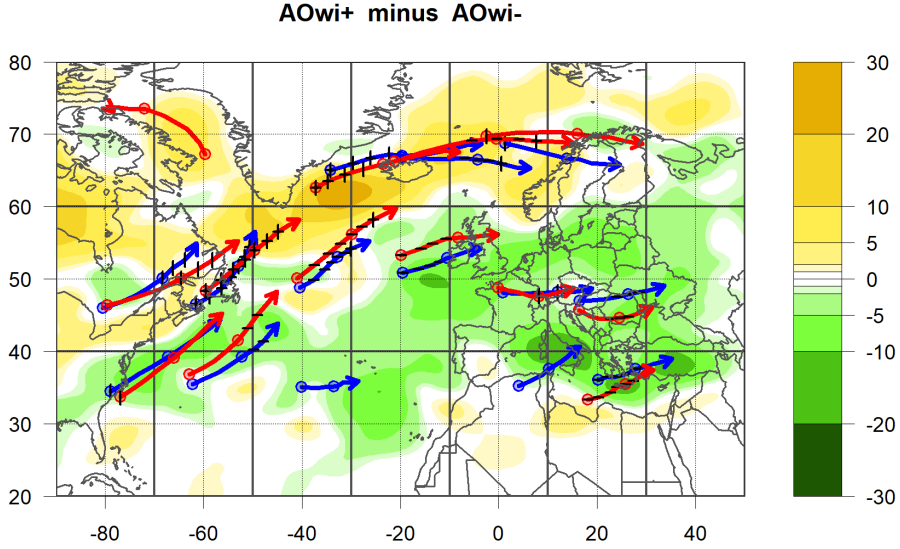


Рисунок 5 – Обобщенная схема зимней циклонической активности: средние траектории циклонов для положительной/отрицательной фаз Арктического колебания (красные/синие стрелки) и разница частоты циклонов между положительной и отрицательной фазами (желтая и зеленая заливка). Вертикальными и горизонтальными штрихами обозначены значимые (на уровне 0,1) изменения, соответственно, широты и долготы траекторий

Наибольшие региональные отклики в частоте циклонов в Западном и Восточном Средиземноморье характерны для регионального Средиземноморского колебания в зимний и весенний сезоны с отрицательной корреляцией для Западного Средиземноморья и положительной корреляцией для Восточного Средиземноморья.

Колебания Восточная Атлантика/Западная Россия, Скандинавское и Полярное/Евразийское, которые связаны с блокирующими ситуациями в различных частях Европы и развитием меридиональных процессов в Средиземноморском бассейне, характеризуются усилением циклонической активности весной в положительные фазы Скандинавского колебания и Полярного/Евразийского колебания, а также зимой (декабрь) в отрицательную фазу колебания Восточная Атлантика/Западная Россия.

Наряду с климатическими колебаниями Атлантико-Европейского региона, межгодовые тихоокеанские колебания (Западно-Тихоокеанское, Восточно-Тихоокеанское – Северо-Тихоокеанское, Тихоокеанское / Североамериканское), а также колебание Тропики/Северное полушарие характеризуются значимыми откликами в циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе (с вкладом в дисперсию параметров циклонов 5–10%). Для них актуальным направлением исследований является изучение механизмов удаленного влияния (например, посредством атмосферных мостов) и временного запаздывания откликов.

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) характеризуется преимущественно положительными синхронными связями с частотой циклонов Западного Средиземноморья весной. При этом необходимо принимать во внимание наличие асинхронных откликов и особенностей проявления различных событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья центрального и восточного типов.

Региональные отклики на типы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья в частоте интенсивных циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе особенно выражены в межсезонье (весной и осенью). В Черноморском регионе частота интенсивных циклонов выше весной при восточном (каноническом) Эль-Ниньо, чем в неаномальные годы, и весной и осенью при восточном (нетипичном) Ла-Нинья, чем при центральном Ла-Нинья (**табл. 3**). Подобные оценки получены для интенсивных циклонов Западного и Восточного Средиземноморья. В средиземноморских регионах частота интенсивных циклонов повышается при центральном типе Эль-Ниньо, а при Ла-Нинья характеризуется аномалиями противоположного знака в Западном Средиземноморье (отрицательными) и Восточном Средиземноморье (положительными).

Региональные различия проявлений типов Эль-Ниньо и Ла-Нинья в Черноморском и Средиземноморских регионах связаны либо с изменением частоты местного циклогенеза, либо со смещением преобладающих направлений траекторий циклонов из соседних районов циклогенеза. Так, например, при восточном типе Эль-Ниньо наблюдается выход скандинавских циклонов на Черноморский регион.

При анализе десятилетних-междесятилетних колебаний подход, основанный на сравнении средних региональных аномалий в разные фазы АМО и ТДО, позволил впервые сделать следующие предположения о закономерностях их проявлений. В отрицательную фазу Тихоокеанской декадной осцилляции по сравнению с положительной фазой частота циклонов в январе–марте возрастает вдвое в центрах циклогенеза и над Анатолийским полуостровом. При такой концентрации центров циклонов у южной границы Черноморского региона он чаще находится в условиях холодного сектора циклонов. При смене фаз Атлантической мультидекадной осцилляции частота циклонов в ноябре–марте на 30% выше в положительную фазу над Тирренским и Ионическим морями и ниже над Анатолийским полуостровом, чем в отрицательную фазу.

Таблица 3 – Разность частоты интенсивных циклонов (в % от большей величины) в Черноморском регионе с доверительной вероятностью (в долях единицы) при Эль-Ниньо центрального (ЭНц) и восточного (ЭНв) типов и Ла-Нинья центрального (ЛНц) и восточного (ЛНв) типов, а также в неаномальные годы (н/а). Положительная / отрицательная разность отмечена знаком + / -

	ЛНц-ЛНв	***ЛНц-н/а***	***ЛНв-н/а***	***ЭНв-ЭНц***	***ЭНц-н/а***	***ЭНв-н/а***
сентябрь						
октябрь				+76; 0,99		+55; 0,9
ноябрь	-47; 0,8					
декабрь						
январь						
февраль	-54; 0,8					
март	-72; 0,9	-53; 0,8			+47; 0,8	+60; 0,9
апрель				+58; 0,9		+68; 0,95
осень	-50; 0,8					
зима						
весна	-50; 0,8			+41; 0,8		+58; 0,9

С учетом только линейных синхронных проявлений совместный вклад рассмотренных 15-ти основных климатических сигналов составляет 60–75% дисперсии частоты циклонов в зимне-весенний период и для среднегодовых значений. С учетом нелинейных связей (экспоненциального сглаживания рядов) доля объясненной дисперсии возрастает до 97–99%.

В **Главе 5** рассматривается возможность предсказуемости циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе, обусловленной как квазипериодическими климатическими сигналами, так и изменением глобального климата при разных сценариях антропогенного воздействия.

Первая часть главы посвящена сезонному прогнозу изменчивости частоты интенсивных циклонов (0,75 квантиля) в Черноморском регионе, Западном и Восточном Средиземноморье в связи с климатическими сигналами с помощью модели на основе искусственного интеллекта, разработанной в ИПТС.

Во второй части главы проведен анализ изменений зимней циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе в XXI веке в контексте глобального потепления на основе ансамбля моделей последнего поколения 6-й фазы проекта Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) в рамках сценариев умеренного (SSP2-4.5) и максимального (SSP5-8.5) уровней антропогенных выбросов парниковых газов с помощью программы, разработанной в ИПТС.

Установлено, что временная изменчивость частоты циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе определяется разным набором предикторов (климатических сигналов) от месяца к месяцу. В связи с этим для моделирования циклонов использовалась самообучающаяся модель с алгоритмом автоматического выбора предикторов среди атмосферных и океанических индексов, соответствующих центрам действия атмосферы и энергоактивным зонам океана.

Проведено успешное ретроспективное сезонное прогнозирование среднемесячной частоты интенсивных циклонов с сентября по май с заблаговременностью 2, 4, 6 месяцев с использованием модели на основе искусственных нейронных сетей и комплекса глобальных климатических сигналов в качестве предикторов (**рис. 6**). Коэффициенты качества моделирования на контрольной выборке достигают следующих значений: коэффициент корреляции r = 0,7–0,95; отношение среднеквадратичной ошибки моделирования к стандартному отклонению исходного ряда $RMSE/\sigma$ = 0,59–0,69. При этом для холодных месяцев возможно дальнейшее улучшение набора предикторов, вероятно, благодаря учету региональных климатических параметров, а в теплые месяцы прогноз ограничен за счет низкой частоты интенсивных циклонов. Чтобы избежать недооценки экстремумов, обучающая выборка должна быть расширена на период, включающий экстремальные значения исходных значений.

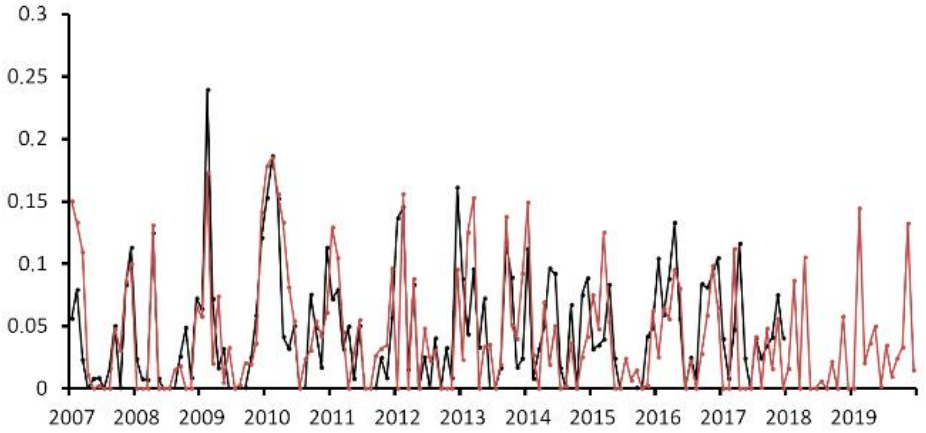


Рисунок 6 – Многолетний ход исходной (черная линия) и моделируемой (красная линия) среднегодовой частоты интенсивных циклонов (относительная безразмерная величина) в Черноморском регионе с заблаговременностью 6 месяцев

В контексте глобального потепления проанализированы изменения зимней циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе за три 15-летних периода XXI века: начало (2000–2014 гг.), середина (2043–2057 гг.) и конец (2086–2100 гг.) века при умеренном сценарии (SSP2-4.5) со средним уровнем выбросов парниковых газов и жестком сценарии (SSP5-8.5) с максимальным уровнем выбросов. Расчеты основаны на ансамбле семи моделей проекта CMIP6, которые показали наилучшее согласование по циклонической активности с реанализами NCEP/NCAR и ERA5 за период начала века.

Изменение климата в середине и конце XXI века по обоим сценариям выбросов проявляется в усилении зимней циклонической активности в западной и центральной Европе. В Черноморско-Средиземноморском регионе преобладает понижение зимней циклонической активности в конце века, особенно в Восточном Средиземноморье более чем на 50%. При этом в середине века наблюдается региональное повышение, в особенности в Западном Средиземноморье, которое может быть связано с междесятилетней квазипериодической изменчивостью (**рис. 7**). Североатлантические циклоны в обоих сценариях смещаются на 2°–3° на восток в области основной (северной) ветви и на юг в области южной ветви. Над северными морями Европы циклоны смещаются к северу на 2°–3° в конце века по обоим сценариям. Средние траектории циклонов в конце века по сценарию максимального (SSP5-8.5) уровня выбросов смещаются на 1,5°–2,5° на северо-восток над Западным Средиземноморьем и на юг над Восточным Средиземноморьем.

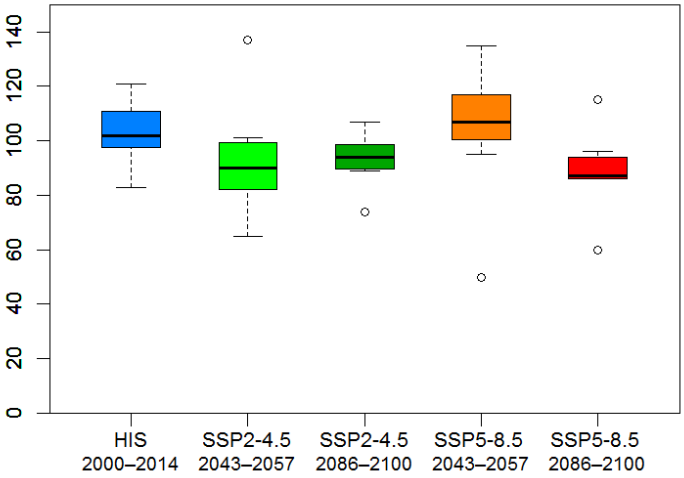


Рисунок 7 – Среднее количество зимних циклонов в Черноморском регионе в XXI веке, в начале (2000–2014 гг.), середине (2043–2057 гг.) и конце (2086–2100 гг.), при умеренном (SSP2-4.5) и жестком (SSP5-8.5) сценариях по ансамблю моделей CMIP6. Черная линия на диаграммах – медиана, диапазон диаграмм – от 0,25 до 0,75 квантиля, диапазон «усов» – от 0,05 до 0,95 квантиля, белыми точками отмечены выбросы

В **Главе 6** проанализированы проявления крупномасштабных климатических процессов, реализуемых благодаря изменчивости циклонической активности, на примерах отдельных параметров, имеющих важное прикладное значение. При этом рассмотрены следующие показатели: штормовые (ветро-волновые) аномалии, урожайность агрокультур (озимая пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник) и биоклиматические параметры рекреационной привлекательности (эквивалентно-эффективная температура, индекс ветрового охлаждения и весовое содержание кислорода) на главных курортах РФ Южного берега Крыма и Кавказа.

Показано, что межгодовая-междесятилетняя изменчивость циклонической активности в Черноморском регионе в разные фазы климатических колебаний обусловливает соответствующие масштабы изменчивости ветро-волновых (штормовых) аномалий Черноморского побережья России, урожайности агрокультур Северного Причерноморья (**рис. 8**) и биоклиматических условий, включая экстремальные, на черноморских курортах РФ (**рис. 9**).

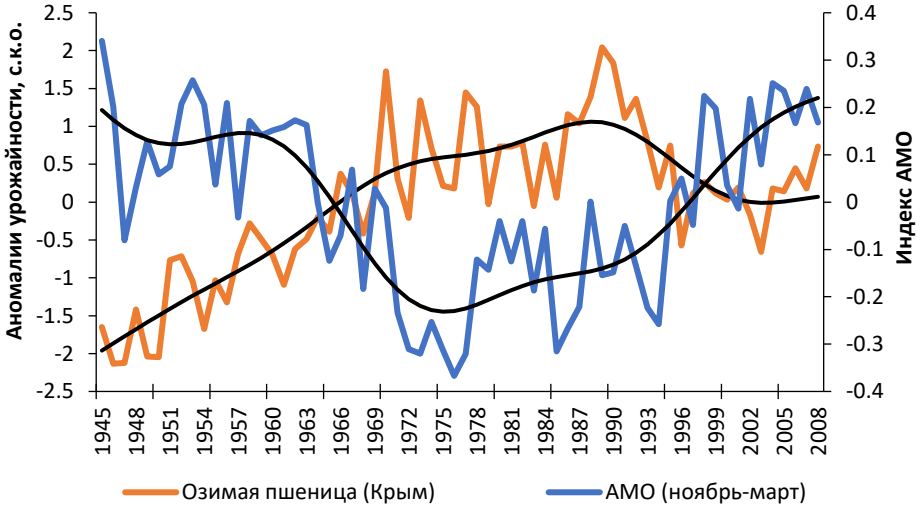


Рисунок 8 – Многолетний ход аномалий урожайности озимой пшеницы в Крыму и индекса АМО с ноября по март; слаженные 8-летним фильтром ряды (черные кривые)

Показана связь положения глубоких циклонов с типами штормов в северной части Черного моря с высотой волн не менее 5 метров. Центры глубоких циклонов сосредоточены над центром Черного моря при западном типе штормовых атмосферных ситуаций, к северо-востоку и северу от Черного моря для двух подтипов смешанного типа и на юго-востоке для центрального типа штормовых атмосферных ситуаций.

Установлено, что современные агроклиматические условия, изменившиеся под влиянием глобальных аномалий климата, являются менее благоприятными

для произрастания агрокультур. Повышение циклонической активности осенью, в период адаптации посевов к перезимовке, приводит к понижению урожая озимой пшеницы. Смена междесятилетних аномалий урожайности приурочена к смене фаз АМО (**рис. 8**) и ТДО. Определены основные климатические сигналы-предикторы межгодового масштаба с вкладом в дисперсию урожайности до 25%. Осенью это Пол/Евр и АК, а весной – ВАК, ВА/ЗР, СКАНД.

Показано, что при увеличении циклонической активности в отрицательные фазы Восточноатлантического и Североатлантического колебаний на курортах (Ялта и Сочи) не менее чем на 50% увеличивается частота дней с ветренными, прохладными и свежими (с большим содержанием кислорода) условиями, а в положительные фазы колебаний наблюдается противоположная ситуация. При этом отрицательные тенденции циклонической активности в зимне-весенний период в Черноморском регионе способствуют расширению туристического сезона на месяцы холодного полугодия, как видно на примере эквивалентно-эффективной температуры в январе (**рис. 9**).

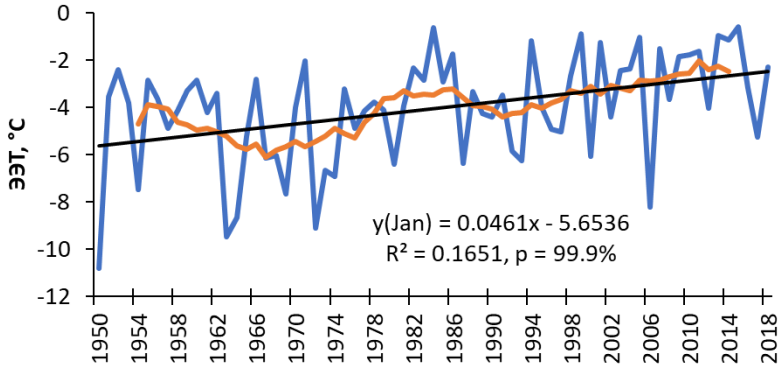


Рисунок 9 – Многолетний ход эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ) в январе в Ялте, линейный тренд (черная линия) и 10-летнее скользящее среднее (красным)

Таким образом, определены перспективные направления практического приложения установленных закономерностей для перспективной оценки штормовой активности, продуктивности сельскохозяйственных культур и биоклиматических индексов, используемых для сравнительной характеристики климата и лечебно-рекреационного потенциала курортов.

В **Заключении** сформулированы основные выводы диссертационной работы:

1. Получены уточненные характеристики климатической изменчивости параметров общей циклонической активности и глубоких циклонов в Черноморском регионе, западной и восточной частях Средиземноморского региона. При этом Черноморский регион характеризуется наибольшей дисперсией многолетней изменчивости среднегодовых величин частоты и глубины циклонов. Западное

Средиземноморье отличается наибольшей циклонической активностью с наименьшей годовой амплитудой, а Восточное Средиземноморье – наибольшей годовой амплитудой параметров циклонов.

Максимальная повторяемость циклонов приходится на зимние месяцы в Средиземноморских регионах и на весенние месяцы в Черноморском регионе. Частота глубоких циклонов в среднем за год выше в Западном Средиземноморье, а в холодные месяцы – в Восточном Средиземноморье.

Линейные тренды объясняют до 10% изменчивости параметров циклонов. Частота общей циклонической активности уменьшается весной в Черноморско-Средиземноморском регионе. При этом частота глубоких циклонов уменьшается зимой и весной в Черноморском регионе, а в Восточном Средиземноморье возрастает за счет осени. Осенью во всём Черноморско-Средиземноморском регионе увеличивается площадь и глубина/интенсивность циклонов.

2. Выявлены закономерности проявлений 15-ти основных межгодовых-междесятилетних сигналов в системе океан–атмосфера в аномалиях циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе и представлены в виде схем смещения траекторий над Атлантико-Европейским сектором, соответствующих колебаниям этих процессов.

При этом установлено, что основное влияние на циклоническую активность в Черноморском регионе оказывает Арктическая осцилляция (Северополушарная кольцевая мода), а для Средиземноморского региона более важную роль играет Средиземноморское колебание. Впервые показано, что интенсивная циклоническая активность выше в Черноморском регионе при событиях Эль-Ниньо и Ла-Нинья восточного типа, а в средиземноморских регионах во время событий Ла-Нинья и при центральном типе Эль-Ниньо. На междесятилетнем масштабе циклоническая активность в Черноморско-Средиземноморском регионе усиливалась в январе–марте в центрах циклогенеза на 30% при положительной фазе АМО и на 50% при отрицательной фазе ТДО в связи с перестройкой атмосферной циркуляции и крупномасштабных аномалий потоков тепла.

Доля объясненной дисперсии частоты циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе с учетом только линейных синхронных проявлений рассмотренных 15-ти основных климатических сигналов достигает 60–75% в зимне-весенний период и в среднем за год.

3. Впервые с использованием модели на основе искусственных нейронных сетей выполнен успешный ретроспективный сезонный прогноз частоты интенсивных циклонов по месяцам в изучаемом регионе с заблаговременностью от 2 до 6 месяцев и с применением в качестве предикторов комплекса индексов климатических сигналов. При этом для холодных месяцев возможно дальнейшее улучшение набора предикторов, вероятно, благодаря учету региональных климатических параметров, а в теплые месяцы прогноз ограничен за счет низкой частоты интенсивных циклонов. Чтобы избежать недооценки экстремумов, обучающая выборка должна быть расширена на период, включающий экстремальные значения исходных значений.

4. Впервые получены региональные оценки изменения циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе в середине (2043 – 2057 гг.) и конце (2086 – 2100 гг.) XXI века по сравнению с началом века (2000 – 2014 гг.) в сценариях умеренного (SSP2-4.5) и максимального (SSP5-8.5) уровней антропогенных выбросов парниковых газов по ансамблю моделей CMIP6.

В конце века в Черноморско-Средиземноморском регионе преобладает понижение зимней циклонической активности, особенно в Восточном Средиземноморье более чем на 50%. При этом в середине века наблюдается региональное повышение, в особенности в Западном Средиземноморье, которое может быть связано с междесятилетней квазипериодической изменчивостью циклонической активности. Ожидается сдвиг средних траекторий циклонов на 1,5°–2,5° на северо-восток над Западным Средиземноморьем и на юг над Восточным Средиземноморьем.

5. Межгодовая-междесятилетняя изменчивость циклонической активности у Черноморского побережья России обусловливает масштабы и характер аномалий ветро-волновых (штормовых) параметров, урожайности агрокультур и биоклиматической привлекательности курортов.

Впервые выявлены особенности изменчивости региональных климатических аномалий, связанных с циклонической активностью, для решения прикладных задач. Определены условия формирования разных типов штормов в северной части Черного моря в зависимости от пространственного положения глубоких циклонов. Получены закономерности межгодовой-междесятилетней изменчивости урожайности агрокультур в южных регионах России и биоклиматической привлекательности черноморских курортов, подтвержденные количественными оценками.

Полученные фундаментальные результаты исследований важны для совершенствования теории климата и климатических прогнозов, а их практическое применение обеспечит возможность научно-обоснованного перспективного планирования рациональной климатозависимой хозяйственной деятельности на Черноморском побережье России и снизит риски негативных последствий опасных погодных условий.

Список цитируемой литературы:

Акперов М. Г. Анализ современных режимов внетропических циклонов в тропосфере Северного полушария и тенденций их изменения по данным реанализа и модельным расчетам : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / М. Г. Акперов, Москва: Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, 2012. 102 с.

Акперов М. Г., Мохов И. И. Оценки чувствительности циклонической активности в тропосфере внетропических широт к изменению температурного режима // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2013. № 2 (49). С. 129–129.

Бардин М. Ю. Характеристики циклоничности во внетропической зоне Северного полушария в задачах диагноза и прогноза климата : автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / М. Ю. Бардин, Москва: Институт глобального климата и экологии, 1994. 19 с.

Бардин М. Ю. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. 1995. № 11. С. 24–37.

Воскресенская Е. Н., Наумова В. А. Глобальные процессы в системе океан-атмосфера и экстремальные погодно-климатические аномалии в Черноморско-Азовском регионе // Системы контроля окружающей среды. 2006. № 9. С. 315–318.

Матишов Г. Г., Титов В. В. Климатические изменения в Приазовье за по-следние 126 тысяч лет и проблема маловодья // Вестник Российской Академии Наук. 2023. Т. 93. № 12. С. 1127–1135.

Нестеров Е. С. Экстремальные циклоны в Атлантико-Европейском регионе / Е. С. Нестеров, Москва: Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, 2018. 104 с.

Полонский А. Б., Бардин М. Ю., Воскресенская Е. Н. Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века // Морской гидрофизический журнал. 2007. № 6. С. 47–58.

Топтунова О. Н. Анализ циклонических режимов северного и южного полушарий : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук : 25.00.30. / О. Н. Топтунова, Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2016. 22 с.

Торопов П. А., Алешина М. А., Семенов В. А. Тенденции изменений климата Черноморско-Каспийского региона за последние 30 лет // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 2. С. 67–77.

Хан В. М., Вильфанд Р. М. Сезонное климатическое прогнозирование: от научных основ к практическим решениям // Фундаментальная и прикладная климатология. 2025. Т. 11. № 4. С. 467–505.

Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология: учебник. – 7-е изд. / С. П. Хромов, М. А. Петросянц, Москва: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. 582 с.

Alexandersson H. [et al.]. Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set // Climate Research. 2000. № 14. P. 71–73.

Alpert P. [et al.]. Chapter 2 Relations between climate variability in the Mediterranean region and the tropics: ENSO, South Asian and African monsoons, hurricanes and Saharan dust / eds. P. Lionello, R. Malanotte-Rizzoli, R. Boscolo, Elsevier, 2006. P. 149–177.

Baltacı H., Akkoyunlu B. O., Tayanç M. Relationships between teleconnection patterns and Turkish climatic extremes // Theoretical and Applied Climatology. 2018. № 3–4 (134). P. 1365–1386.

Bardin M. Yu., Samokhina O. F. Changes in Surface Climate (Air Temperature and Precipitation) on the Territory of Russia in the 21st Century // Russian Meteorology and Hydrology. 2025. № 4 (50). P. 255–266.

Bilgili M., Tokmakci M. Climate change and trends in Europe and globally over the period 1970–2023 // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2025. № 139. P. 103928.

Blöschl G. [et al.]. Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years // Nature. 2020. № 7817 (583). P. 560–566.

Caian M. [et al.]. Recent Changes in Storm Track over the Southeast Europe: A Mechanism for Changes in Extreme Cyclone Variability // Atmosphere. 2021. № 10 (12). P. 1362.

Campins J. [et al.]. Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset // International Journal of Climatology. 2011. № 11 (31). P. 1596–1614.

Chang E. K. M., Guo Y., Xia X. CMIP5 multimodel ensemble projection of storm track change under global warming // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2012. № D23 (117). P. 2012JD018578.

Chen H., Xu Z. Decadal-to-Multidecadal Variability of Seasonal Land Precipitation in Northern Hemisphere in Observation and CMIP6 Historical Simulations // Atmosphere. 2020. № 2 (11). P. 195.

Cherchi A. [et al.]. Global Mean Climate and Main Patterns of Variability in the CMCC-CM2 Coupled Model // Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2019. № 1 (11). P. 185–209.

Eichler T. P., Gaggini N., Pan Z. Impacts of global warming on Northern Hemisphere winter storm tracks in the CMIP5 model suite // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2013. № 10 (118). P. 3919–3932.

Feng S., Fu Q. Expansion of global drylands under a warming climate // Atmospheric Chemistry and Physics. 2013. № 19 (13). P. 10081–10094.

Flaounas E. [et al.]. Mediterranean cyclones: current knowledge and open questions on dynamics, prediction, climatology and impacts // Weather and Climate Dynamics. 2022. № 1 (3). P. 173–208.

Franzke C. L. E. [et al.]. The Structure of Climate Variability Across Scales // Reviews of Geophysics. 2020. № 2 (58). P. e2019RG000657.

Guijarro J. A., Jansà A., Campins J. Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean // Advances in Geosciences. 2006. № 7. P. 45–49.

Harvey B. J. [et al.]. How large are projected 21st century storm track changes? // Geophysical Research Letters. 2012. № 18 (39). P. 2012GL052873.

Haylock M. R., Goodess C. M. Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation // International Journal of Climatology. 2004. № 6 (24). P. 759–776.

Hochman A. [et al.]. The dynamics of cyclones in the twentyfirst century: the Eastern Mediterranean as an example // Climate Dynamics. 2020. № 1–2 (54). P. 561–574.

Hoskins B. J., Hodges K. I. New perspectives on the Northern Hemisphere winter storm tracks // Journal of Atmospheric Sciences. 2002. № 6 (59). P. 1041–1061.

Hurrell J. W., Deser C. North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation // Journal of Marine Systems. 2010. № 3–4 (79). P. 231–244.

Jansa A. [et al.]. MEDEX: a general overview // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2014. № 8 (14). P. 1965–1984.

Khodayar S. [et al.]. Mediterranean Cyclones in a Changing Climate: A Review on Their Socio-Economic Impacts // Reviews of Geophysics. 2025. № 2 (63). P. e2024RG000853.

Kotsias G. [et al.]. Objective climatology and classification of the Mediterranean cyclones based on the ERA5 data set and the use of the results for the definition of seasons // Theoretical and Applied Climatology. 2023. № 1–2 (152). P. 581–597.

Krug A. [et al.]. Moisture sources of heavy precipitation in Central Europe in synoptic situations with Vb-cyclones // Climate Dynamics. 2022. № 11–12 (59). P. 3227–3245.

Kucharski F. [et al.]. The teleconnection of the tropical Atlantic to Indo-Pacific sea surface temperatures on inter-annual to centennial time scales: a review of recent findings // Atmosphere. 2016. № 2 (7). P. 29.

Lionello P. [et al.]. Cyclones in the Mediterranean region: Climatology and effects on the environment Developments in earth and environmental sciences / eds. P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli, R. Boscolo, Elsevier, 2006. P. 325–372.

McCabe G. J., Clark M. P., Serreze M. C. Trends in Northern hemisphere surface cyclone frequency and intensity // Journal of Climate. 2001. № 12 (14). P. 2763–2768.

Neu U. [et al.]. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms // Bulletin of the American Meteorological Society. 2013. № 4 (94). P. 529–547.

Nissenbaum D. [et al.]. Six types of dust events in Eastern Mediterranean identified using unsupervised machine-learning classification // Atmospheric Environment. 2023. № 309. P. 119902.

Owen L. E. [et al.]. Compound precipitation and wind extremes over Europe and their relationship to extratropical cyclones // Weather and Climate Extremes. 2021. № 33. P. 100342.

Pinto J. G. [et al.]. Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM // Climate Dynamics. 2007. № 2–3 (29). P. 195–210.

Priestley M. D. K., Catto J. L. Future changes in the extratropical storm tracks and cyclone intensity, wind speed, and structure // Weather and Climate Dynamics. 2022. № 1 (3). P. 337–360.

Raible C. C. [et al.]. A review of past changes in extratropical cyclones in the northern hemisphere and what can be learned for the future // WIREs Climate Change. 2021. № 1 (12). P. e680.

Rimbu N., Lohmann G., Ionita M. Interannual to multidecadal Euro-Atlantic blocking variability during winter and its relationship with extreme low temperatures in Europe // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2014. № 24 (119). P. 13621–13636.

Rudeva I., Gulev S. K. Composite Analysis of North Atlantic Extratropical Cyclones in NCEP–NCAR Reanalysis Data // Monthly Weather Review. 2011. № 5 (139). P. 1419–1446.

Semenov S. M. Intergovernmental Panel on Climate Change: Results, Problems, and Prospects // Izv. Atmospheric Ocean. Phys. 2024. V. 60. № S3. P. S323–S330.

Simmonds I., Burke C., Keay K. Arctic Climate Change as Manifest in Cyclone Behavior // Journal of Climate. 2008. № 22 (21). P. 5777–5796.

Sinclair V. A. [et al.]. The characteristics and structure of extra-tropical cyclones in a warmer climate // Weather and Climate Dynamics. 2020. № 1 (1). P. 1–25.

Tilinina N. [et al.]. Comparing cyclone life cycle characteristics and their interannual variability in different reanalyses // Journal of Climate. 2013. № 17 (26). P. 6419–6438.

Trigo I. F., Davies T. D., Bigg G. R. Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region // Journal of Climate. 1999. № 6 (12). P. 1685–1696.

Ulbrich U., Leckebusch G. C., Pinto J. G. Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review // Theoretical and Applied Climatology. 2009. № 1–2 (96). P. 117–131.

Valkaniotis S. [et al.]. Landslides Triggered by Medicane Ianos in Greece, September 2020: Rapid Satellite Mapping and Field Survey // Applied Sciences. 2022. № 23 (12). P. 12443.

Voskresenskaya E., Polonsky A. Air pressure fluctuations in the North Atlantic and their relationship with El Nino-southern oscillations // Physical Oceanography. 1993. № 4 (4). P. 275–282.

Voskresenskaya E., Polonsky A. Low-Frequency climate variability over Eastern Europe as a result of the North Atlantic changes // Papers on IGU: Climate and Environmental Change. Evora, Portugal: IGU, 1998. P. 89–96.

Zolina O., Gulev S. K. Improving the accuracy of mapping cyclone numbers and frequencies // Monthly Weather Review. 2002. № 3 (130). P. 748–759.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Маслова В.Н.** Глобальный климат и региональная циклоническая активность: обзор // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2025. – Т. 11, № 4. – С. 506-570. – DOI 10.21513/2410-8758-2025-4-506-570. **(ВАК, 1 категория; ЕГПНИ, 2 уровень)**

2. **Maslova V.N.**, Voskresenskaya E.N. Determinacy of Temporal Variability of Cyclone Frequency in the Black Sea–Mediterranean Region // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2025. – Vol. 61. – Suppl. 1. – P. S28–S45. – DOI: 10.1134/S0001433825700975. **(ВАК; Web of Science, Q4; Scopus, Q4)**

3. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н. Детерминированность временной изменчивости повторяемости циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 75-114. – DOI 10.21513/2410-8758-2025-1-75-114. – EDN ISHJFO. **(ВАК, 1 категория; ЕГПНИ, 2 уровень)**

4. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н. Проявления типов Эль-Ниньо и Ла-Нинья в интенсивных циклонах Черноморско-Средиземноморского региона // Географический вестник. – 2024. – № 3(70). – С. 95-112. – DOI 10.17072/2079-7877-2024-3-95-112. – EDN DEHRVX. **(ВАК, 1 категория; ЕГПНИ, 2 уровень; RSCI)**

5. Красовская В.С., Воскресенская Е.Н., **Маслова В.Н.**, Лубков А.С. Влияние крупномасштабных климатических сигналов на растительный покров на территории Крымского полуострова // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2025. – № 1(395). – С. 70-94. – DOI 10.37162/2618-9631-2025-1-70-94. – EDN MCHOKQ. **(ВАК, 1 категория; ЕГПНИ, 1 уровень; RSCI)**

6. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н. Закономерности изменчивости урожайности агрокультур в новых субъектах РФ // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2024. – № 4(180). – С. 79-86. – EDN MZSQCH. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

7. Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N., **Maslova V.N.** Extreme Recreational Conditions in the Black Sea Resorts Associated with the North Atlantic Climate // Climate. – 2023. – V. 11. – N. 7. – P. 148. – DOI 10.3390/cli11070148. – EDN APFWYW. **(Web of Science, Q2; Scopus, Q2)**

8. **Maslova V.N.**, Voskresenskaya E.N., Yurovsky A.V., Bardin M.Yu. Winter cyclone regimes over the North Atlantic region // Theoretical and Applied Climatology. – 2022. – Vol. 148, No. 3-4. – P. 1689-1711. – DOI 10.1007/s00704-022-04018-3. – EDN SKIEWX. **(Web of Science, Q3; Scopus, Q2)**

9. Voskresenskaya E.N., **Maslova V.N.**, Lubkov A.S., Zhuravskiy V.Y. Present and Future Changes in Winter Cyclonic Activity in the Mediterranean–Black Sea Region in the 21st Century Based on an Ensemble of CMIP6 Models // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13, No. 10. – P. 1573. – DOI 10.3390/atmos13101573. – EDN CMDCHL. **(Web of Science, Q3; Scopus, Q2)**

10. **Maslova V.N.**, Voskresenskaya E.N., Lubkov A.S., Yurovsky A.V. Temporal variability and predictability of intense cyclones in the western and eastern mediterranean // Atmosphere. – 2021. – Vol. 12, No. 9. – DOI 10.3390/atmos12091218. – EDN CPSWJS. **(Web of Science, Q3; Scopus, Q2)**

11. **Maslova V.N.**, Voskresenskaya E.N., Lubkov A.S., Yurovsky A.V., Zhuravskiy V.Y., Evstigneev V. P. Intense cyclones in the Black Sea region: Change, variability, predictability and manifestations in the storm activity // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, No. 11. – P. 4468. – DOI 10.3390/su12114468. – EDN RBSTIT. **(Web of Science, Q3; Scopus, Q1)**

12. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Юровский А.В. Квазипериодическая изменчивость общей и интенсивной циклонической активности в Черноморском регионе в 1951–2017 гг. // Системы контроля окружающей среды. – 2020. – № 2(40). – С. 19-28. – DOI 10.33075/2220-5861-2020-2-19-28. – EDN JJBLOI. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

13. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Юровский А.В., Журавский В.Ю., Евстигнеев В.П., Наумова В.А. Методические подходы к исследованию циклонических систем, соответствующих разным типам интенсивных штормов в Северочерноморском регионе // Системы контроля окружающей среды. – 2020. –

№ 3(41). – С. 5-14. – DOI 10.33075/2220-5861-2020-3-5-14. – EDN BTVETE. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

14. **Маслова В.Н.**, Наумова В.А., Евстигнеев В.П. Режим, аномалии и многолетняя изменчивость ветро-волновых условий Севастопольского региона (Окончание. Начало в бюлл. №1 2019) // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2019. – № 2(158). – С. 54-60. – EDN FPSZCO. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

156. **Маслова В.Н.**, Наумова В.А., Евстигнеев В.П. Режим, аномалии и многолетняя изменчивость ветро-волновых условий Севастопольского региона // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2019. – № 1(157). – С. 55-60. – EDN OWDOZI. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

16. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Юровский А.В., Бардин М.Ю. Годовой ход и сезонные тренды параметров циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе в 1951–2017 гг. // Системы контроля окружающей среды. – 2019. – № 4(38). – С. 91-98. – DOI 10.33075/2220-5861-2019-4-91-98. – EDN CLHYNE. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

17. Мизин В.И., Ежов В.В., Иващенко А.С., Пьянков А.Ф., Ярош А.М., **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б. Био-климатические индексы в оценке лечебно-рекреационного потенциала приморских курортов // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 135-139. – EDN VMKBDW. **(ВАК, 3 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

18. Вышкваркова Е.В., **Маслова В.Н.** Особенности атмосферных осадков на Черноморском побережье России в связи с событиями Ла-Нинья разных типов // Системы контроля окружающей среды. – 2018. – № 11(31). – С. 79-82. – EDN YWXQWM. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

19. **Maslova V.N.**, Voskresenskaya E.N., Lubkov A.S. Multidecadal change of winter cyclonic activity in the Mediterranean associated with AMO and PDO // Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences. – 2017. – Vol. 28, No. 6. – DOI 10.3319/TAO.2017.04.23.01. – EDN XXDMMX. **(Web of Science, Q4; Scopus, Q3)**

20. **Маслова В.Н.**, Вышкваркова Е.В., Коваленко О.Ю. Климатические особенности на побережье Чёрного моря и их изменения в связи с событиями Эль-Ниньо // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2016. – № 3(147). – С. 67-72. – EDN XCMREB. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

21. Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., **Маслова В.Н.**, Лубков А.С. Ла-Нинья 2016 года в рамках пространственной классификации // Системы контроля окружающей среды. – 2016. – № 6(26). – С. 84-92. – EDN XRNHGD. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 4 уровень)**

22. Борисенко М.Н., Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ткаченко О.В., Твардовская Л.Б., Иванченко В.И., Воскресенская Е.Н., Вышкваркова Е.В., Коваленко О.Ю., **Маслова В.Н.**, Новиков А.А. Научно обоснованная концепция для разработки модели перспективного планирования размещения виноградных насаждений в западном предгорно-приморском районе Крыма в условиях изменяющегося климата // Виноградарство и виноделие. – 2015. – Т. 45. – С. 25-29. – EDN UMXPEZ. **(РИНЦ; CrossRef)**

23. **Маслова В.Н.** Климатический анализ синоптических вихрей в Черноморском регионе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2013. – № 27. – С. 161-168. – EDN VBFRRN. **(ВАК, 2 категория; ЕГПНИ, 2 уровень; RSCI; Scopus, Q3)**

Главы и разделы в монографиях

1. Воскресенская Е.Н., Лебединский В.В., Агаркова-Лях И.В., **Маслова В.Н.** Глава II. Развитие берегов Гераклейского полуострова за последние 2500 лет и изменения климата / Атлас ближней хоры Херсонеса Таврического. – Санкт-Петербург : Издательство Алетейя, 2022. – С. 16-27. – EDN KCPMOX.

2. **Маслова В.Н.** Циклоническая деятельность. Раздел в атласе-монографии «Современное состояние береговой зоны Крыма» / под ред. д-ра геогр. наук Ю.Н. Горячкина; Морской гидрофизический институт (г. Севастополь). – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. – С. 10-12.

Материалы конференций

1. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н. Изменение циклонической активности в Черноморско- Средиземноморском регионе // Системы контроля окружающей среды - 2024 : Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук в рамках научно-технического сотрудничества Россия-АСЕАН-БРИКС, Севастополь, 05–08 ноября 2024 года. – Севастополь: ИП Куликов А.С., 2024. – С. 87. – EDN FUVFQG.

2. **Маслова В.Н.** Влияние естественных и антропогенных факторов на параметры циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе // Ломоносовские чтения : Тезисы докладов Общеуниверситетской научной конференции МГУ, Севастополь, 25–27 марта 2024 года. – Севастополь: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2024. – С. 18-20. – EDN GARCOD.

3. **Маслова В.Н.**, Журавский В.Ю., Лубков А.С. Возможные изменения зимней циклонической активности в средиземноморско-Черноморском регионе в XXI веке на основе ансамбля моделей CMIP6 // Системы контроля окружающей среды - 2023 : Тезисы докладов Международной научно-практической конференции в рамках научно-технического сотрудничества Россия-АСЕАН, посвященной 300-летию Российской академии наук, Севастополь, 07–10 ноября 2023 года. – Севастополь: ИП Куликов А.С., 2023. – С. 64. – EDN QJIRMK.

4. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Лубков А.С., Юровский А.В., Журавский В.Ю. Проявления климатических сигналов в аномалиях черноморских и средиземноморских циклонов // Системы контроля окружающей среды – 2022 : Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Конференция посвящена 300-летию Российской академии наук, проводится в рамках научно-технического сотрудничества Россия-АСЕАН, Севастополь, 08–11 ноября 2022 года. – Севастополь: ИП Куликов А.С., 2022. – С. 84. – EDN DBJDCT.

5. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Юровский А.В. Экстремальная циклоническая активность в Черноморском регионе как часть общей квазипериодической изменчивости // Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их

охрана : Сборник тезисов II Всероссийской научно-практической школы-конференции, пгт. Курортное, 28 сентября – 02 октября 2020 года. – пгт. Курортное: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Институт природно-технических систем”, 2020. – С. 147-148. – EDN ACLIWJ.

6. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Юровский А.В., Бардин М.Ю. Уточненный режим и тенденции циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе // Системы контроля окружающей среды - 2019 : Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, Севастополь, 12–13 сентября 2019 года. – Севастополь: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Институт природно-технических систем”, 2019. – С. 125. – EDN QJRTYK.

7. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Коваленко О.Ю., Вышкваркова Е.В. Сезонная изменчивость метеопараметров Крыма в свете глобальных климатических трендов // Инновации в геологии, геофизике и географии - 2019 : сборник материалов 4-ой Международной научно-практической конференции, Севастополь, 03–06 июля 2019 года. – Москва: Издательство "Перо", 2019. – С. 82. – EDN ABUIHI.

8. Voskresenskaya E.N., Marchukova O.V., **Maslova V.N.**, Lubkov A S. Interannual climate anomalies in the Atlantic-European region associated with La-Nina types // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Kazan, 27–29 сентября 2017 года. Vol. 107. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012043. – DOI 10.1088/1755-1315/107/1/012043. – EDN XXHFYD.

9. **Маслова В.Н.** Достижения института природно-технических систем в области исследования морской и наземной природной среды Причерноморья // Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана : Сборник тезисов научно-практической школы-конференции, Новороссийск, 23–27 апреля 2018 года. – Новороссийск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Институт природно-технических систем”, 2018. – С. 103-104. – EDN XUXRGH.

10. **Маслова В.Н.** Климатические исследования молодых учёных института природно-технических систем // Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами : Сборник материалов V научно-практической молодежной конференции, Севастополь, 08–11 октября 2018 года. – Севастополь: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Институт природно-технических систем”, 2018. – С. 158-161. – EDN VMFWNQ.

11. **Маслова В.Н.** Большие вызовы и ответы на них: опыт комплексных исследований института природно-технических систем // Морские исследования и рациональное природопользование : Материалы молодежной научной конференции, Севастополь, 19–23 сентября 2018 года. – Севастополь: Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 2018. – С. 63-65. – EDN VNVZJD.

12. **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б. Перспективные направления исследований изменчивости природной среды и климата в

Черноморско-Средиземноморском регионе // Системы контроля окружающей среды - 2018 : Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, Севастополь, 05–09 ноября 2018 года. – Севастополь: Колорит, 2018. – С. 72-72а. – EDN YTTGYP.

13. **Маслова В.Н.**, Наумова В.А. Закономерности формирования циклонической активности и экстремальных штормовых условий в Севастопольском регионе // Системы контроля окружающей среды - 2018 : Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, Севастополь, 05–09 ноября 2018 года. – Севастополь: Колорит, 2018. – С. 75-75а. – EDN YTTGZN.

14. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., **Маслова В.Н.**, Марчукова О.В. Прогнозирование начала экстремальных событий ЭНЮК // Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы : Труды Всероссийской конференции к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина, Санкт-Петербург, 19–20 декабря 2017 года. – Санкт-Петербург: ООО "Аграф+", 2017. – С. 310-313. – EDN YXLJQJ.

15. Марчукова О.В., **Маслова В.Н.**, Воскресенская Е.Н., Лубков А.С. Два типа ла-Нинья: их особенности и дальнодействие // Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы : Труды Всероссийской конференции к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина, Санкт-Петербург, 19–20 декабря 2017 года. – Санкт-Петербург: ООО "Аграф+", 2017. – С. 330-334. – EDN YXLJSL.

16. **Maslova V.N.**, Voskresenskaya E.N., Bayankina T.M., Yurovsky A.V. Satellite information and NCEP/NCAR reanalysis application for the analysis of cyclonic activity in the Mediterranean-Black Sea region // Geophysical Research Abstracts. – 2014. – Vol. 16. – P. EGU2014-864-2.

17. Voskresenskaya E.N., **Maslova V.N.**, Kovalenko O.Yu. Interannual-interdecadal variability of cyclones and anticyclones in the Mediterranean-Black Sea region // The book of abstracts of Medclivar 2014 Conference. – 2014. – P. 2014/211.

18. Баянкина Т.М., Воскресенская Е.Н., Коваленко О.Ю., **Маслова В.Н.** Циклоны и антициклоны в Черноморско-Средиземноморском регионе // Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета. – № 119. – 2013. – С. 22-26.

Маслова Вероника Николаевна

Изменение циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе под влиянием естественных и антропогенных факторов

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
доктора географических наук
Специальность 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате»

Подписано в печать «29» декабря 2025 г. Формат 60 х 84 1/16.
Печ. л. 2. Тираж 150 экз.
Заказ № 39
Отпечатано в ФГБНУ «Институт природно-технических систем»
299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28