

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Грицуна Андрей Сергеевича

на диссертационную работу Бабанова Бориса Андреевича «Режимы крупномасштабной атмосферной циркуляции в регионах Евро-Атлантики и Северной Евразии в условиях меняющегося климата», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Диссертационная работа Бабанова Бориса Андреевича посвящена применению методов кластерного анализа для классификации циркуляционных режимов атмосферы в Северной Евразии и Атлантике по данным реанализов и моделирования с целью выявления типичных состояний атмосферной динамики и наиболее вероятных переходов между ними, их климатических трендов и оценки качества климатических моделей по воспроизведению данных характеристик атмосферной циркуляции, а также исследованию возможных источников долгосрочной предсказуемости атмосферы.

Следует отметить, что подобные исследования активно проводятся научным сообществом начиная с конца 70х годов прошлого века. Тем не менее, непрерывное развитие наблюдательных систем, численных моделей климата и появление новых алгоритмов анализа данных наблюдений/моделирования поддерживают актуальность работ в данном направлении.

Основными результатами работы, выносимыми на защиту, являются, во-первых, результаты тщательного анализа современных методов кластеризации, сопровождаемые подробным обзором соответствующей литературы, с обоснованным выбором наиболее предпочтительного варианта (метод k-средних). Во-вторых, это полученные в работе характеристики режимов циркуляции в Северной Евразии и Атлантике (пространственная структура, средняя продолжительность, повторяемость, вероятности переходов) по данным реанализа ERA5 для зимних и летних периодов. Для Северной Евразии данные результаты получены впервые, анализ режимов для региона Северная Атлантика - Европа частично повторяет результаты ряда известных работ (ссылки [19,23,24,27] в тексте диссертации). Далее, это результаты анализа данных воспроизведения современного климата рядом моделей ведущих климатических центров и вывод о том, что большинство моделей способно воспроизводить основные характеристики циркуляционных режимов (как зимних, так и летних), а ансамбль моделей – и наиболее вероятные направления переходов между режимами. Важным результатом диссертационной работы также является исследование влияния некоторых «внешних»

факторов (антропогенные воздействия, аномалии площади морского льда, фазы явления Эль-Ниньо) на частоту формирования погодных режимов Северной Евразии. В частности, установлено наличие значимого (двукратного) увеличения повторяемости режима «Уральский максимум» и связанного с ним аномально высокой температуры воздуха на европейской территории России в летние месяцы в 2000-2020гг по сравнению с 1940-60гг. Наконец, в работе проанализированы статистические связи между найденными погодными режимами и экстремальными погодными явлениями. Все перечисленные результаты, с учетом сделанной выше оговорки, являются новыми.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием численных методов различной структуры и сложности, показавших согласованные результаты, использованием современных данных наблюдений и модельных расчетов.

Диссертационная работа изложена на 126 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Основной список литературы содержит 108 ссылок.

Во введении приведен краткий обзор истории развития и современного состояния исследований по проблематике диссертации, сформулированы цели и задачи работы, вкратце описаны предлагаемые методы исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Отмечена научная новизна, научная и практическая значимость работы, перечислены публичные мероприятия, на которых представлены основные результаты, приведен список опубликованных работ по теме диссертации, сформулирован личный вклад автора в результаты и приведены благодарности научному руководителю, коллегам и соавторам.

Первая глава посвящена обзору методов кластерного анализа применительно к данным метеорологических измерений и численного моделирования. В обзоре упомянуты «субъективные» методы типизации, приводятся ранние объективные методики, основанные на вычислении матриц взаимных расстояний между объектами типизации, и, далее, подробно описаны четыре основных метода, используемых далее в работе: иерархическая кластеризация Уорда, метод k-средних, модель гауссовой смеси, самоорганизующиеся карты. Также рассмотрены наиболее распространенные методы определения оптимального числа кластеров (параметра, необходимого для работы упомянутых алгоритмов): метод «локтя», метод «силуэта», метод «отношения дисперсий», метод «индекса классифицируемости» и метод «индекса воспроизводимости». Далее весь набор описанных методов применяется для задачи определения зимних и летних режимов в Евро-Атлантическом регионе для данных реанализа ERA5 и делается, в том числе, вывод об оптимальности метода K-средних для решения задачи идентификации погодных режимов..

Во второй главе представлены результаты анализа различных характеристик найденных погодных режимов для регионов Евро-Атлантики (ЕАТ) и Северной Евразии (СЕ) в зимний и летний сезоны. Исследуются пространственные структуры соответствующих режимов и их временные характеристики, такие как время жизни, повторяемость, вероятности переходов в другие режимы и климатические тренды. Для Евро-Атлантики выполнено сравнение полученных результатов с другими работами. В конце главы суммированы основные выводы (существование четырех режимов в ЕАТ, качественное совпадение полученных режимов ЕАТ с результатами других исследователей, наибольшая повторяемость режима NAO+, наибольшая продолжительность режима NAO-, существование предпочтительных переходов между режимами). Отмечается существование четырех режимов в СЕ, лучшая кластеризация для зимних режимов (как и для ЕАТ), существование предпочтительных переходов. Важным результатом является наличие устойчивого положительного тренда режима «уральский максимум» (и связанного с ним роста вероятности волн жары на ЕТР), а также отрицательных трендов для режимов скандинавского и арктического блокингов.

В третьей главе представлены результаты воспроизводимости найденных зимних и летних режимов циркуляции атмосферы в ЕАТ для ведущих моделей Земной системы из ансамбля эксперимента CMIP, включая отечественную модель INM-CM5 ИВМ РАН. Проведено сравнение пространственных и временных характеристик режимов, а также наиболее вероятных переходов между ними. Сделан вывод, что большинство моделей (кроме CESM2 и MIROC6) правильно воспроизводят пространственные структуры режимов в Евро-Атлантике в зимние и летние месяцы по отношению к погодным режимам реанализа. Также, большинство исследованных моделей воспроизводят и временные характеристики зимних и летних погодных режимов в ЕАТ, такие как повторяемости и продолжительности. Модели лучше воспроизводят основные характеристики погодных режимов в зимние месяцы. Матрицы вероятностей переходов между режимами воспроизводятся в среднем по ансамблю моделей, но не отдельными моделями.

В четвертой главе предпринята попытка установить влияние «внешних» условий (фазы явления Эль-Ниньо и аномалии концентрации морского льда в Арктике) на временные характеристики найденных режимов в Северной Евразии, а также связать наблюдаемые экстремальные погодные явления с реализацией конкретных погодных режимов. По итогам исследований констатируется, что положительная фаза Nino3.4 осенью способствует повышенной повторяемости «Сибирского блокинга» и сниженной повторяемости «Северо-восточного максимума», а отрицательные аномалии площади

морского льда осенью и весной соответствуют повышенной повторяемости режима «Уральский максимум» в последующие сезоны. Летний режим «Уральский максимум» статистически связан с повышенной частотой аномально жарких дней на Европейской территории России, а режим НАО- связан с ростом вероятности аномально холодных дней на Севере Европы. Также здесь приводятся результаты анализа влияния крупномасштабных режимов атмосферной циркуляции на осадки на Южном берегу Крыма.

В заключении коротко представлены основные выводы работы.

Диссертационная работа понятно написана и хорошо структурирована, текст работы свидетельствует о высокой эрудиции автора и подтверждает его высокую научную квалификацию, знание научной проблематики по теме исследования и смежным областям науки, способность формулировать задачи и получать значимые научные результаты.

Отмечу некоторые вопросы-замечания, возникшие при прочтении работы.

1. Возможно, стоило бы более подробно протестировать устойчивость полученных результатов по отношению к количеству используемых данных. Для большинства климатических моделей доступно несколько реализаций исторических расчетов, поэтому такие «тонкие» характеристики режимной циркуляции, как матрицы вероятности переходов можно было бы определить с большей достоверностью (и заодно оценить ее).

2. Представляется интересным прояснить вопрос о реализуемости найденных погодных режимов. Что это в действительности – некоторый статистический объект или реальное состояние климатической системы, в окрестности которого происходит снижение скорости движения в фазовом пространстве (реализуется квазистационарность) и имеет место увеличение плотности состояний системы? Это можно было бы проиллюстрировать соответствующими распределениями плотности вероятности в пространстве найденных режимов.

3. Работе не помешал бы более подробный анализ взаимосвязей найденных режимов между собой. Являются ли найденные режимы в Евро-Атлантике и Северной Евразии частью глобальных планетарных режимов? Являются ли какие-то режимы в Евро-Атлантике предикторами режимов Северной Евразии?

4. Стоило бы привести анализ возможных физических механизмов, обеспечивающих предсказуемость найденных режимов в Северной Евразии. Более конкретно, каким образом реализуются найденные связи аномалии площади морского льда с режимом «Уральский максимум»?

5. Анализ предсказуемости режимов следовало бы дополнить построением резонансов – собственных векторов найденной матрицы переходов между режимами

(первый собственный вектор данной матрицы с собственным значением единица является стационарной плотностью вероятности в пространстве режимов, а следующий – наименее убывающим и наиболее долго предсказуемым возмущением стационарной плотности).

6. По тексту работы – формулировки основных определений («режим циркуляции», «предсказуемость» и т.п.) следовало бы сделать более четкими. Тоже самое относится и к формулировке результатов (не «связь повторяемости ...и ...площади» (п 4. Стр117), а «влияние площади ... на повторяемость в следующий сезон»; не «влияние ПР на вероятности экстремальных аномалий» (п 5. Стр.117), а «связь вероятности экстремальных аномалий с ПР». Тоже самое относится и к стр.29 автореферата.

Сделанные замечания, тем не менее, не снижают общую высокую оценку данной работы и полученных результатов.

Суммируя сказанное выше, отмечу, что диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне и представляет собой законченный научный труд. Содержание диссертации полностью соответствует паспорту по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате. Автореферат работы соответствует содержанию, достаточно полно отражает структуру диссертации и дает возможность сделать заключение о ее высоком научном уровне. Основные положения диссертации опубликованы в научных изданиях. Список публикаций по теме диссертации содержит 9 работ, включая 3 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, WoS и Scopus. Результаты работы докладывались на многочисленных российских и международных конференциях.

Таким образом, диссертация Бабанова Бориса Андреевича «Режимы крупномасштабной атмосферной циркуляции в регионах Евро-Атлантики и Северной Евразии в условиях меняющегося климата» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденных постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. №842, предъявляемых к диссертационным работам на соискание степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент

Исполняющий обязанности директора ИВМ РАН

Доктор физико-математических наук (специальность 25.00.29 — Физика атмосферы и гидросферы), доцент, профессор РАН

119333, г. Москва, ул. Губкина, д.8, ИВМ РАН

e-mail: asgrit@mail.ru, тел: +7 (495) 984-8120 доб. 3902

10 июня 2025г.

Грицун А.С.

Я, Грицун Андрей Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

10 июня 2025



Грицун А.С.

«Подпись и.о. директора ИВМ РАН Грицуна Андрея Сергеевича удостоверяю»

Начальник отдела кадров ИВМ РАН

10 июня 2025



Высоцкая В.И.