

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ФГБНУ “Федеральный
исследовательский центр
Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова
Российской академии наук”
академик РАН



Г.Г. Денисов

11 июня 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

В диссертации Б.А. Бабанова решается задача идентификации и анализа режимов циркуляции атмосферы в средних широтах -- повторяющихся крупномасштабных долгоживущих структур атмосферных потоков, которые определяют характерные распределения погодных аномалий над обширными территориями. Процесс переходов системы между режимами является доминирующей составляющей атмосферной динамики на внутрисезонных масштабах, при этом характерный временной масштаб этого процесса превышает дальность метеорологических прогнозов, что делает исследование режимов задачей чрезвычайно актуальной как для фундаментального понимания законов крупномасштабной изменчивости атмосферы, так и для прикладных задач, связанных с увеличением дальности прогнозов погоды. В данной работе автор сфокусировался на региональных проявлениях атмосферной циркуляции в Евро-Атлантическом регионе и на севере Евразии в зимние и летние сезоны, оказывающих влияние на погодные аномалии в

Российской Федерации. С методической точки зрения, режимы определяются автором как кластеры состояний атмосферы, объединенные по признаку близости (похожести). Работая в рамках такого подхода, автор рассмотрел несколько методов кластеризации и провел сравнение результатов, полученных данными методами, что является несомненным плюсом работы. Подробно анализируются временные характеристики найденных режимов, такие как повторяемость, времена жизни, вероятности переходов в другие режимы, исследуется их влияние режимов на погоду, включая экстремальные погодные явления. Кроме того, выявляется связь с долгопериодными процессами -- мощной тропической модой Эль-Ниньо - Южное колебание и динамикой концентрации морского льда в Арктике; также показаны тренды межгодовой повторяемости некоторых режимов. Помимо данных климатического мониторинга, методика анализа режимов применяется к данным экспериментов с восемью ведущими моделями Земной системы (МЗС), участвующих в проекте CMIP, с целью анализа воспроизводимости режимов и их свойств этими моделями.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 108 наименований. Общий объем диссертации составляет 126 страниц.

Во введении сделан обзор литературы по теме диссертации и описана ее актуальность, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В главе 1 подробно описаны методы кластеризации, которые используются в данной работе для выделения режимов и в последующих главах сравниваются между собой: иерархическая кластеризация Уорда, метод k-средних, модель гауссовой смеси, самоорганизующиеся карты. Описываются некоторые подходы к выбору оптимального числа кластеров, которые также затем исследуются в работе. Описывается процедура обработки данных (временные ряды геопотенциальной высоты уровня давления 500 hPa), алгоритмы кластеризации, и демонстрируются результаты идентификации режимов циркуляции атмосферы в Евroatлантическом регионе. Делается вывод о наибольшей эффективности метода кластеризации k-means среди других рассмотренных методов. Показано, что в обоих сезонах удалось выделить 4

режима, соответствующих отрицательной и положительным фазам североатлантического колебания, сибирскому блокингу и атлантической положительной аномалии давления.

В главе 2 описана методика и представлены результаты исследования характеристик идентифицированных режимов в Евроатлантическом регионе и на севере Евразии, отдельно для зимнего и летнего сезонов. На севере Евразии было выделено по 4 различных режима летом и зимой. Исследуются пространственные паттерны, соответствующие найденным режимам в обоих регионах, а также их временные характеристики: времена жизни, повторяемость, вероятности переходов в другие режимы, тренды.

В главе 3 исследуется воспроизводимость как зимних, так и летних режимов циркуляции атмосферы восемью ведущими моделями земной системы из ансамбля CMIP, включая модель российскую модель ИВМ РАН. Сравниваются как пространственные паттерны режимов, так и их характеристики. Делается вывод о том, что большинство рассмотренных моделей успешно воспроизводят режимы, найденные в данных, причем в зимний период точность воспроизведения выше, чем в летний.

В главе 4 исследуется влияние явления ЭНЮК и концентрации морского льда в Арктике на повторяемость выявленных режимов в северной Евразии. Демонстрируется, что положительная фаза ЭНЮК приводит повышению и понижению повторяемости зимнего скандинавского блокинга и зимнего северо-восточного максимума, соответственно, а отрицательные аномалии площади морского льда осенью и весной приводят к повышенной повторяемости уральского максимума в последующие зимний и летний сезоны. Далее, показано влияние найденных режимов в Северной Евразии и Евро-Атлантике на частоту экстремальных погодных аномалий в Северном полушарии. В частности, в отдельном разделе демонстрируется существенное влияние некоторых режимов на осадки на южном берегу Крыма.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

По итогам рассмотрения диссертации и публикаций автора могут быть отмечены следующие наиболее **значимые результаты**, претендующие на **научную новизну**:

- Идентифицированы режимы в Евроатлантическом регионе и на севере Евразии как в зимние, так и в летние периоды. Установлены долгосрочные тренды повторяемости режимов и оценена их скорость. Для режимов на севере Евразии получены свидетельства квазициклических смен режимов.
- Получены оценки воспроизводимости режимов ведущими моделями Земной системы CMIP. Установлено, что пространственная корреляция зимних модельных режимов с режимами, найденными в реальных данных, составила 0.85 в зимние месяцы и 0.80 -- в летние. Повторяемости и времена жизни зимних режимов зимой воспроизводятся моделями лучше, чем летних.
- Выявлена связь повторяемости зимних и летних режимов на севере Евразии с ЭНЮК и площадью морского льда в Северном полушарии в предшествующие сезоны. Установлено, что положительная фаза ЭНЮК приводит повышению и понижению повторяемости зимнего скандинавского блокинга и зимнего северо-восточного максимума, соответственно, а отрицательные аномалии площади морского льда осенью и весной приводят к повышенной повторяемости уральского максимума в последующие зимний и летний сезоны.
- Показано влияние найденных режимов на вероятности экстремальных аномалий температур, осадков и ветра. Некоторые летние режимы приводят к росту вероятности жарких дней на европейской территории России в 2-3 раза, а определенные зимние режимы к кратному росту аномально холодных дней на территории Европы.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обусловлена адекватным решаемой задаче подбором методов и алгоритмов, а также использованием методик оценки статистической значимости полученных оценок. Полученные новые результаты идентификации режимов и их влияния на аномальную погоду, оригинальные оценки связей режимов с долгопериодными процессами ЭНЮК и динамики арктического льда, обуславливают **научную и практическую значимость** диссертации.

В целом, работа производит хорошее впечатление: она содержит внушительный обзор литературы и существующих методов, относящихся к решаемой задаче, достаточно подробное описание используемых алгоритмов и

полученных результатов. Используются адекватные метрики для характеристик режимов и проверки их статистической значимости. Диссертация логично структурирована, написана хорошим языком и представляет собой целостную научную работу. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Автор, несомненно, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

Замечания по диссертационной работе

Ниже перечислены замечания и комментарии, которые не влияют на положительную оценку работы, а служат скорее рекомендациями для будущих исследований.

1. Хотя в работе исследуются режимы в двух выбранных регионах, циркуляция атмосферы над средними (и полярными) широтами представляет собой глобальную непрерывную систему геострофических движений воздушных масс. По этой причине режимы в Евро-Атлантике и Северной Евразии могут быть связаны (коррелировать) как между собой, так и с режимами в других регионах, например в северной части Тихого океана и в Северной Америке. Другими словами, интересно было бы посмотреть, что представляют собой найденные режимы в контексте глобальной циркуляции и не являются ли они проявлениями более общих режимов, охватывающих внетропические широты всего полушария.

2. В первой главе работы делается вывод об оптимальности метода кластеризации k-means исходя из величины среднего внутрикластерного расстояния. Однако следует заметить, что более корректной мерой сравнения различных моделей, лежащих в основе кластеризации, является правдоподобие, то есть вероятность генерации данной выборки моделью. Поскольку в методе k-means по построению минимизируется именно суммарное внутрикластерное расстояние, не удивительно, что он по этому критерию “побеждает” другие методы. Но это не значит, что такая модель является более правдоподобной для данной выборки.

3. Обзор методов выбора оптимального числа кластеров не является исчерпывающим. Так, не указан один эффективный подход, известный как gap statistics (R. Tibshirani et al., Estimating the Number of Clusters in a Data Set Via the

Gap Statistic, Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology, Volume 63, Issue 2, July 2001), в рамках которого максимизируется разность суммы внутрикластерных расстояний для данной выборки и ансамбля суррогатных выборок. Такой подход может применяться для произвольного метода кластеризации. Часто он дает хороший максимум в зависимости от числа кластеров. Кроме того, существуют методы (см, например, D. Mukhin et al., Revealing recurrent regimes of mid-latitude atmospheric variability using novel machine learning method. Chaos, 2022; 32 (11): 113105), основанные на построении графов на множестве состояний, разбиение которых на сообщества (кластеры) не требует априорного задания числа сообществ.

4. В работе используются данные исторических экспериментов с МЗС. Однако, для каждой МЗС в CMIP доступен ансамбль порядка 10-ти реализаций, а в работе ничего не сказано о том, каким образом выбирались реализации из таких ансамблей. Например, если для каждой МЗС использовался полный ансамбль реализаций, то появляются вопросы как этот ансамбль препарировался: отделялась ли вынужденная часть изменчивости (ансамблевое среднее), делалось ли ансамблевое ЭОФ-разложение, как вычитался сезонный ход и т.д.

5. Хотелось бы увидеть дискуссию о возможных механизмах найденного влияния Эль-Ниньо и арктического льда на режимы циркуляции атмосферы. Подтверждаются ли полученные выводы другими работами? Возможно ли обратное влияние режимов на эти процессы?

Мелкие замечания по формулировке результатов:

В п. 4 раздела Заключение: фраза “Явление Эль-Ниньо в осенние месяцы связан с ростом повторяемости режима WSB в последующие зимы” не совсем удачно сформулирована. Наверное, лучше сказать не “связано”, а “предшествует повышенной повторяемости...”. Иначе остаётся непонятным направление причинности. Это же относится к последующим предложениям про морские льды (в п.4) и про связь “с кратным ростом аномально холодных дней на территории Европы” в п.5.

Заключение

Диссертация Бабанова Бориса Андреевича “Режимы крупномасштабной атмосферной циркуляции в регионах Евро-Атлантики и Северной Евразии в условиях меняющегося климата” представляет собой законченную научно-квалификационную работу по актуальной проблеме, соответствующей научной специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате. Диссертация содержит новые научные результаты, полученные автором, апробированные путем опубликования в форме статей в рецензируемых журналах и докладов на профильных международных и российских конференциях. Общий список публикаций включает в себя 9 научных работ, включая три статьи в журналах из списка ВАК.

Таким образом, диссертация соответствует пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842) и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата наук, а ее автор, Бабанов Борис Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Доклад Б.А. Бабанова по диссертации и отзыв на нее обсуждались на заседании квалификационного семинара Отделения геофизических исследований и Центра гидроакустики ИПФ РАН 06.06.2025 г.

Отзыв подготовил:

зам. зав. отделом физики атмосферы
и микроволновой диагностики ИПФ РАН
к.ф.-м.н. специальность 01.04.03 «Радиофизика»

Д.Н. Мухин

Я, Мухин Дмитрий Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их обработку.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук” (ИПФ РАН)

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46. Факс: +7 (831) 416 06 16
Тел.: +7 (831) 436 62 02 Эл. почта: dir@ipfran.ru Интернет-сайт: www.iapras.ru

Подпись Д.Н. Мухина заверяю
Ученый секретарь ИПФ РАН, к.ф.-м.н.

И.В. Корюкин

