

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Гаврикова Александра Владимировича

на диссертационную работу Бабанова Бориса Андреевича

«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

Диссертационная работа Бабанова Б.А. посвящена проблеме выявления квазистационарных режимов крупномасштабной атмосферной циркуляции с помощью методов кластеризации, использующихся в машинном обучении.

Современное геофизическое численное моделирование обладает существенным недостатком, который ограничивает заблаговременность прогноза. Такой недостаток имеет название «предел предсказуемости» и связан с турбулентной (случайной) природой атмосферы, неопределенностью, заложенной в начальных и граничных условиях задачи и несовершенством современных численных схем. Для атмосферы этот предел оценивается в 1—2 недели. Поэтому большое теоретическое и практическое значение имеют работы по разработке способов увеличить этот предел. Одним из таких способов является статистическая типизация атмосферных режимов, которая позволяет представить атмосферу как последовательность квазистационарных, сменяющих друг друга режимов.

В своей работе Бабанов Б.А. предлагает современные подходы для выявления таких режимов с помощью методов кластеризации, использующихся в машинном обучении. В исследовании соискателя приводится ряд наиболее широко используемых методов и четкое обоснование выбора, наиболее подходящего для решаемой задачи. Валидация проводится на регионе Северной Атлантики, в котором атмосферные режимы уже хорошо исследованы. Далее автор обобщает свой метод на регион Северной Евразии, что, в такой постановке, делается впервые. Потенциально это исследование способно повысить точность и заблаговременность прогнозов погоды и опасных атмосферных явлений на территории Российской Федерации, поэтому **значимость и актуальность** данной работы не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 108 наименований. Общий объем диссертации содержит 126 страниц, включая 18 таблиц и 27 рисунков.

Во **Введении** представлена общая характеристика работы, обоснование актуальности темы, формулировка, обоснование основной цели исследования и поставленных задач. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость работы, обозначен личный вклад автора.

В **Главе 1** приведена краткая историческая справка и исчерпывающее описание использованных ранее методов объективной типизации. Предложены несколько современных аналогов, заимствованных из статистического анализа и машинного обучения. Приведено исчерпывающее описание новых методов и обоснование выбора метода k -средних, как наиболее подходящего для кластеризации атмосферных режимов. Представлено знакомство с полученными режимами для Северной Атлантики (главным образом в валидационных целях) и Северной части Евразии (впервые). Также представлено описание данных, на которых было проведено исследование. Наиболее важным здесь является раздел 1.3, где описываются методы определения оптимального количества кластеров.

Глава 2 посвящена климатическому анализу полученных результатов для региона Северной Атлантики и Северной части Евразии. Представлены характеристики и тренды погодных режимов за зимний и летний периоды, а также рассчитаны вероятности переходов для каждого из режимов. Следует отметить, что климатическое описание квазистационарных режимов для Северной Евразии производится впервые.

Главный акцент в **Главе 3** делается на климатические модели проекта CMIP и их способность воспроизводить квазистационарные пространственно-временные структуры аналогичные тем, что обнаружены в ERA5 в главе 1 и 2. Произведен анализ 8-ми моделей и показано, что большинство моделей способны восстановить как зимние, так и летние режимы.

Главе 4 посвящена исследованию влияния аномалий индекса явления Эль-Ниньо (Nino3.4) и площади морского льда в Северном полушарии на повторяемость погодных режимов в Северной Евразии. Также приводятся оценки их связей с аномалиями различных характеристик атмосферы.

В **Заключении** представлены наиболее важные результаты диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов подтверждается их согласованностью с данными измерений и результатами работ других исследований. В работе использовались методы хорошо себя зарекомендовавшие в предыдущих исследованиях. Также достоверность хорошо подкреплена публикациями в рецензируемых журналах и многочисленными докладами на научных конференциях.

Научная **новизна** обеспечена следующими пунктами (указаны только основные):

1. Впервые проведено сравнение результатов режимной типизации Северной Атлантики, полученными несколькими современными методами кластеризации.
2. Впервые получены квазистационарные режимы синоптической циркуляции для Северной Евразии. Как следствие, впервые были получены многие важные климатические оценки этих режимов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке подхода, который потенциально позволит расширить теоретический предел предсказуемости численных моделей до субсезонных масштабов, уточнить достоверность прогнозирования экстремальных погодных явлений на территории России.

По своему содержанию, полученным результатам и выводам диссертация отвечает специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате. Работа представляет собой цельное исследование, четко структурирована и внятно изложена. Тем не менее оппонент хотел бы указать на некоторое количество **замечаний**. Для порядка разобьем замечания на две группы: научные (касающиеся исследования) и оформительские (относящиеся к тексту и изложению).

Замечания и вопросы по сути работы:

1. Известно, что методы кластеризации чувствительны к высокоразмерным данным (т.н. «проклятие размерности»), высокая размерность может привести к неустойчивому решению. В подобных работах много внимания должно уделяться задаче уменьшения размерности, однако в тексте оппоненту удалось найти лишь скромное упоминание разложения на ЭОФ, но без всяких деталей.
2. Многие методы, такие как k -средних, требуют заранее задать количество кластеров (K), таким образом эта процедура является определяющей в исследовании и требует пристального внимания. В работе представлены 5

методов определения оптимального числа кластеров, из которых 4 «не дали однозначного ответа» в зимний период, а летом все 5 методов не показали значимого результата. Причем это верно для обоих исследуемых регионов. Это обстоятельство может быть свидетельством эффекта «проклятия размерности» (см. первое замечание) и требует отдельного разбирательства. Фактическим результатом этого раздела служит выбор количества режимов, основанный в равной степени на исследованиях других научных групп и на собственном исследовании.

3. Окончательно выбранный метод k -средних предполагает, что форма кластера может быть только близкой к сферической. При этом в работе отсутствует какой-либо анализ того, насколько это правдоподобно.
4. Тот факт, что режим WNEH, который похож на сибирский антициклон, оказался четвертым (наименее повторяющимся) *в зимний период*, не является интуитивно понятным для оппонента. Есть ли объяснения этому?
5. На этапе предобработки из данных убирается «сезонный цикл», как средний 5-ти дневный за все года (1940-2022). Не влияет ли осреднение за такой большой период времени на полученные климатические тренды? Возможно это и есть причина большого (60%) количества сверхпродолжительных событий, о которых идет речь в разделе 2.5?
6. В тексте диссертации регулярно встречается путаница между кластеризацией и классификацией. Это разные понятия и хочется пожелать автору последить за тем, чтобы в докладе на защите такой путаницы не возникало, поскольку это может вызывать ненужные споры от матстатистиков.

Оформительские и языковые замечания:

1. Текст диссертации нуждается в финальной вычитке. Сравнительно часто попадаются повторы и предложения, сформулированные в разговорном стиле. Иногда встречаются мысли, которые, по всей видимости, были написаны ночью. В целом, создается ощущение, что соискателю не хватило буквально пары дней, чтобы привести текст в порядок. На фоне вышесказанного хочется с удивлением отметить низкое количество опечаток.
2. Некоторые устоявшиеся термины приведены в несколько измененном виде. Например, «сезонный ход» поему-то заменен на «сезонный цикл».
3. Также обращает на себя внимание небрежность в оформлении формул.

Отмеченные замечание ни коим образом не снижают ценность и высокий научный уровень диссертационной работы. Ее результаты достаточно полно освещены в публикациях из перечня ВАК и в докладах на большом количестве конференций.

Автореферат полностью отражает содержание работы.

Диссертационная работа представляет собой законченное исследование по актуальной тематике. Диссертационная работа отвечает требованиям пп.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842) предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата наук. полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Бабанов Б.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент,
Кандидат физико-математических наук,
специальность 25.00.28-океанология,
Старший научный сотрудник,
Лаборатории взаимодействия океана и
атмосферы и мониторинга климатических
изменений ИОРАН

Гавриков Александр Владимирович

11 июня 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии
им. П.П. Ширшова Российской академии наук

Российская Федерация, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д.36

<https://ocean.ru>

gavrikov@ocean.ru

+7(499)124-79-28



Верно:

Зав. канцелярией ИО РАН

Я, Гавриков Александр Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их обработку.

Подпись Гаврикова Александра Владимировича заверяю