

РЕЦЕНЗИЯ № 2

на статью «ОЦЕНКА ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА НАД БАРЕНЦЕВЫМ И КАРСКИМ МОРЯМИ»

авторского коллектива: В. Ю. Резвов, М. А. Криницкий, А. В. Гавриков

Этап №1.

№	Вопросы и Критерии рецензирования	Да	Нет	Примечание
1.	Соответствует ли статья тематике журнала? (Если нет, остальное не заполняется)	х		Фокус работы сделан на вихревые структуры в атмосфере Арктики. Для хорошего соответствия тематики журнала авторам необходимо правильно расставить акценты и упомянуть о прямых и обратных связях воздуха с водной поверхностью.
2	Соответствует ли статья правилам оформления, принятым в журнале?	х		
3.	Есть ли у рецензента замечания?	х		
4.	Статья содержит новые результаты?	х		Новых результатов, по всей видимости, мало. Ни в абстракте, ни в тексте работы, ни в заключении авторы не пишут, что конкретно они предложили, с какой целью (и подтверждением) и что отличает их подход от работ других авторов.
5.	Название соответствует содержанию материалов?	х		
6.	Присутствует ли логичность и последовательность изложения материала?	х		Не всегда, работу надо вычитывать и частично переписать.
7.	Проведен ли анализ по заявленной проблематике?	х		
8.	Имеется ли статистическая обработка результатов исследования?	х		
9	Ясно ли сделаны математические выкладки?	х		
10.	Ясно ли изложена методика исследования?	х		Да, но нужно доделывать.
11.	Ясно ли изложены результаты работы?	х		Есть над чем поработать.
12.	Научный стиль, грамотность, терминология	х		Есть над чем поработать.
13.	Являются ли выводы достаточно обоснованными?		х	Надо переписывать.

14.	Имеется ли в статье необходимое сравнение с имеющимися результатами?		x	Крайне скудно, надо расширять.
15.	Есть ли в статье необходимые ссылки на источники? (Если нет, приведите список источников, на которые следует сослаться)			Есть в рецензии + авторы сами должны подтвердить свои тезисы ссылками на публикации.
16.	Приемлемо ли качество подготовки таблиц и иллюстраций?	x		
17.	Хорошо ли подготовлены аннотация/Abstract/Keywords?		x	
18.	Нуждается ли язык статьи в редактировании?		x	
19.	Может ли статья быть принята в существующем виде (с незначительными правками)?		x	
20.	Следует ли вернуть статью авторам для доработки? (Если да, необходимо приложить конкретные замечания)	x		Много лишнего, не относящегося к сути исследования, см. рецензия.
21.	Следует ли отклонить статью? (Если да, необходимо приложить конкретные замечания)		x	
22.	Следует ли направить статью в другое издание? (Если да, то в какое?)		x	Если такой вопрос будет рассматриваться, то Метеорология и гидрология.
23.	Следует ли направить статью другому рецензенту? (Если да, можете ли Вы порекомендовать рецензента?)		x	
24.	<u>Основные замечания.</u> 1. Авторам необходимо ответить на вопрос: какие новые результаты получены в рамках исследования? Об этом должно быть написано в самой работе, абстракте и заключении. В чем конкретно заключается «прогресс в области детализации геофизических полей» (первое предложение раздела Заключение)? Методы магнитного обучения уже давно применяются для повышения детализации геофизических и других данных. 2. В работе много лишней информации, не имеющей прямого отношения к исследованию. Обзор конкретных циркуляционных режимов и атмосферных явлений является целесообразным только в том случае, когда в работе устанавливается их взаимосвязь с исследуемым процессом в контексте полученных результатов. Подробнее — см ниже. 3. Описание самого исследования, напротив, представлено недостаточно полно. В работе отсутствует информация о том, каким образом были получены данные по модели WRF и на какой срок интегрировалась модель. Почему нельзя было использовать в качестве истинных начальные данные для WRF вместо данных моделирования? Была ли проверена модель WRF на сетке реанализа? Было ли проведено сравнение результатов моделирования по WRF с начальными данными для нее? Насколько точно модель WRF и рассматриваемый в работе метод повышения разрешения на основе u-net воспроизводят полярные мезоциклоны, которым уделяется существенная часть обзора? Чтобы правильно интерпретировать результаты, представленные в Таблице 1, ее следует			

дополнить данными об ошибке реанализа ERA5, в сравнении с данными моделирования WRF.

В своем исследовании авторы указывают, что vortex «критерий не может четко определить границы вихря». (с. 502) поэтому в работе «Для установления границы КВС и оценки радиуса использовался метод перераспределения точек» (с. 510–511). В работе не приводится обоснование выбора данного метода и количественная оценка качества его работы.

Другие Замечания:

1. В работе присутствует ряд голословных, не подтвержденных ссылками на литературу, утверждений. Некоторые из них являются неверными. Например:

- «мезомасштабные экстремальные погодные явления слабо предсказуемы с использованием глобальных моделей атмосферной циркуляции и не слишком достоверно представлены в реанализах. Это связано с недостаточным пространственным разрешением таких информационных продуктов и использованием гидростатических подходов в моделировании» (67–68).

Авторам следует более тщательно изучить литературу. Например, в следующей работе динамика полярных мезоциклонов изучается с помощью негидростатических моделей с высоким пространственным разрешением:

Stoll PJ, Valkonen TM, Graversen RG, Noer G. A well-observed polar low analysed with a regional and a global weather-prediction model. QJR Meteorol Soc. 2020; 146: 1740—1767. <https://doi.org/10.1002/qj.3764>

В связанной работе:

Moreno-Chamarro, E., Arsouze, T., Acosta, M., Bretonnière, P.-A., Castrillo, M., Ferrer, E., Frigola, A., Kuznetsova, D., Martin-Martinez, E., Ortega, P., and Palomas, S.: The very-high-resolution configuration of the EC-Earth global model for HighResMIP, Geosci. Model Dev., 18, 461—482, <https://doi.org/10.5194/gmd-18-461-2025>, 2025.

утверждается, что глобальная негидростатическая модель с шагом около 16 км способна описывать метеорологические явления с характерным размером около 120 км.

- Еще одно утверждение:

«Для Арктического региона России характерен ряд уникальных мезомасштабных метеорологических явлений, таких, как полярные мезоциклоны» (64–65).

Полярные мезоциклоны существуют как в Северном, так и Южном полушариях. В следующей работе изучается климатология полярных мезоциклонов над Японским морем:

Watanabe, S. I., H. Niino, and W. Yanase, 2016: Climatology of Polar Mesocyclones over the Sea of Japan Using a New Objective Tracking Method. Mon. Wea. Rev., 144, 2503—2515, <https://doi.org/10.1175/MWh-D-15-0349.1>

- В первом абзаце раздела 2 утверждается, что «..одним из основных механизмов переноса импульса, массы и энергии в атмосфере, что оказывает влияние на локальные особенности погоды, являются вихри». В качестве подтверждения, авторы ссылаются, в частности, на результаты моделирования по двухслойной квазигеострофической модели, в которой сделаны выводы «The upgradient PV transport by coherent eddy cores is 15% of the total PV transport,...».

- Абзац (с. 342-349) обосновывает необходимость исследования в области идентификации вихрей в атмосфере. Его следует переписать, поскольку утверждение «Постоянное наличие атмосферных вихрей различного масштаба в Арктическом регионе...» является слабым объяснением необходимости «...разработки надежных методов идентификации вихрей в модельных данных».

- 2. Авторам следует тщательно прочитать работу с целью проверки ее логической связности.

- Например, во введение на с. 71-73 утверждается, что «...большинство исследований, посвященных, например, новоземельской боре, основывается на моделировании с высоким разрешением...», потом же на с. 91-93 авторы пишут, что «Для получения полного пространственного покрытия используются данные атмосферных реанализов и низкоразрешенных моделей с разрешением сетки от десятком до сотен километров».

- Так же во введении: какое отношение «метрики качества» (с. 117-132) имеют отношение к теме работы? Почему на основе этих рассуждений делается заключение следующего вида: «Таким образом, целью настоящей работы является оценка динамики атмосферы по результатам нейросетевого масштабирования полей приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морей.»

- Раздел 1. с. 327-335. Первое и второе предложение в данном абзаце логически не связаны.

- Раздел 2, с. 377-381. Недостатки метода идентификации вихревых структур были устранены в работах Lugt, 197g и др. Ссылка на работу Koshkina et al., 2023 здесь неуместна.

3. Статьи не является обзорной, поэтому должна представлять результаты авторских исследований. Информация, не имеющая прямого отношения к исследованию должна быть удалена.

- В разделе 1 "Особенности Гидрометеорологических условий.." последовательно рассуждается о 1) меридиональных и тропосферных потоках, 2) арктическом фронте, 3) струйном течении, 4) Северо-атлантическом и Арктическом колебаниях, 5) мезомасштабе и пр. Какое отношение данным обзор имеет к результатам исследования? Обзор конкретных циркуляционных режимов и атмосферных явлений является целесообразным только в том случае, когда в работе устанавливается их взаимосвязь с исследуемым процессом в контексте полученных результатов. В противном случае рассуждения о Северо-атлантическом и Арктическом колебаниях, струйных течениях не несут никакого смысла. С таким же успехом наряду с введением понятий струйного течения (с. 217—223) и классификации метеорологических явлений (с. 271—281) можно процитировать классические работы о составе и структуре атмосферы.

- Аналогично в разделе 2 обсуждаться различные методы для идентификации вихревых структур (с. 379—459). Зачем? Что авторы привнесли нового в эти методы? Опорным алгоритмом идентификации вихрей является vortex метод, предложенный в Liu et al., 2018 и усовершенствованный в последующих работах. Авторы используют его, дополняя рядом других известных методов.

- Раздел Заключение, с. 996-1003. Каждая мера качества имеет преимущества и недостатки по сравнению с другими. Использование специализированных метрик в зависимости от задачи и типа исследования - это нормальная практика. Писать об этом в заключении не нужно - это не результат исследования. Аналогично с. 1004-1010: констатировать общеизвестные факты - »та лишнее.

4. Утверждения общего характера, не несущие какого-либо смысла следует исключить из текста работы:

- С. 48. "Поле приповерхностного ветра формируется под воздействием атмосферных процессов, действующих на различных пространственных масштабах."

- с. 147-149. "В условиях крупномасштабной атмосферной циркуляции в арктическом регионе, наряду с преобладающими зональными переносами, регулярно возникают и меридиональные."

- С. 160-161. "Дальность меридиональных потоков, распространяющихся с юга на север и обратно, ограничивается свойствами атмосферы..."

- с. 164-165. "Атмосферная циркуляция в Арктике характеризуется различным положением арктического фронта."

- с. 191-193. "... описанное выше образование, характеризуются резко увеличенными горизонтальными градиентами температуры на уровне 850 мб, что является признаком перехода от одной воздушной массы к другой."

- с. 604-606. "Модель WRF в настоящее время является одной из самых передовых численных моделей атмосферы." Данное утверждение является лишним поскольку применимость WRF в качестве инструмента доказано ссылками на профильные публикации по теме исследования на с. 596-601.

5. Обороты требующие переформулировки:

- с. 49-50. "Ветер является результатом градиента атмосферного давления и свойств подстилающей поверхности..."

- с. 82-83. "Анализ динамики мезомасштабных вихрей в целом значительно улучшает понимание механизмов турбулентного взаимодействия..." - взаимодействия с чем?

- с. 89-91. "Прямые измерения ветра, например, на метеостанциях, можно использовать для определения статистики ветра, однако такие наборы данных ограничены в пространстве разреженностью точек измерений." - что означает "ограниченность в пространстве" прямых измерений? Почему авторы не косвенных данных, источником которых являются данные спутниковых измерений?

- с. 37В. "... критерий не инвариантен ..." - относительно чего?

- с. 467. " выбран для уменьшения влияние поверхностного трения незначительно и повышения надежности"

- с. 587-589. " Эта модель является негидростатической и базируется на полностью сжимаемой термодинамической системе уравнений, что означает, что в ее динамическом ядре решается полная система уравнений без упрощений." - что имеется ввиду под "полной системой уравнений"? Упрощения в WRF также используются - сферичность Земной поверхности, например.

- с. 607-608. "Домен WRF позиционирован таким образом, чтобы максимально покрывать

	Баренцево и Карское моря." имеется ввиду, что расчетная область полностью покрывает интересные регионы? с. 774. " . используя функциональное соотношение, описанное в Главе 2." - о каком соотношении идет речь? - Название первого пункта раздела 5 следует изменить: результаты могут быть моделирования, но не метрик качества. 6. Неверные утверждения: С. 149-150. " Меридиональный перенос представляет собой устойчивые и относительно прямолинейные тропосферные потоки на высоте 3—5 км." - авторы забывают, что "перенос" осуществляется в сферической геометрии, где траектории редко бывают "прямолинейными". с. 553. ".. скорость ветра, умноженная на разницу температуры поверхности океана и температуры воздуха, суммированная по всем точкам кластера. Последняя величина пропорциональна потоку явного тепла. " - это так в классическом подходе Мони́на-Обухова. В современных моделях атмосферы формулы для расчета потоков явного тепла включают поправки для учета безветренной погоды. 7. Другие замечания: - Авторы не указывают версию модели WRF, которая используется в работе. Например, на с. 596-597 утверждается, что "Работа (Oberta et al., 2012) анализирует точность воспроизведения атмосферных осадков, что является ключевым показателем для арктического региона. " Это так, но с 2012 года модель WRF была существенно доработана и, возможно, следует привести более свежие работы по тематике исследования. с. 633. "глобального климатического реанализа ERA5." с. 637-639. для компонент скорости ветра следует использовать общепринятую терминологию: "ортогональные горизонтальные компоненты скорости ветра" зональный и меридиональный компоненты скорости ветра. с. 871. " низкой скоростью". <u>Общее заключение:</u> Работа не плохая, результаты есть, но их описание сделано небрежно, как и остальной текст статьи. Работа требует внимательного прочтения и доработки. Она может быть опубликована после повторной рецензии.
--	--

Рекомендация к опубликованию (подчеркнуть):		
Публиковать безусловно	<u>Публиковать</u> <u>после доработки/устранения замечаний</u>	Отклонить (обосновать!)

Подпись. Рецензент № 2. 02.06.2025.

От редакции: рецензия и была направлена авторскому коллективу.

Ответ рецензенту № 2 на Рецензию от 02.06.2025 на статью авторского коллектива: В. Ю. Резвов, М. А. Крицкий, А. В. Гавриков «ОЦЕНКА ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА НАД БАРЕНЦЕВЫМ И КАРСКИМ МОРЯМИ».

Мы благодарны за ценные замечания, подчеркивающие существенные недостатки в нашей работе. Руководствуясь этими замечаниями, мы приложили все усилия, чтобы сделать работу более понятной и лучше структурированной. Далее мы представляем рецензенту наши пошаговые ответы.

Замечания рецензента мы выделили **полужирным**. В новой версии статьи все исправления и добавления выделены желтым цветом.

Рецензент: Авторам необходимо ответить на вопрос: какие новые результаты получены в рамках исследования? Об этом должно быть написано в самой работе,

абстракте и заключении. В чем конкретно заключается «прогресс в области детализации геофизических полей» (первое предложение раздела Заключение)? Методы машинного обучения уже давно применяются для повышения детализации геофизических и других данных.

Ответ: Спасибо, мы переработали и сделали более последовательным и структурированным абстракт и раздел Заключение.

Рецензент: В работе много лишней информации не имеющей прямого отношения к исследованию. Обзор конкретных циркуляционных режимов и атмосферных явлений является целесообразным только в том случае, когда в работе устанавливается их взаимосвязь с исследуемым процессом в контексте полученных результатов.

Ответ: Введение было сильно переработано, объединив только необходимую информацию об исследовании, в том числе, из бывших разделов 1 и 2.

Рецензент: Описание самого исследования, напротив, представлено недостаточно полно. В работе отсутствует информация о том, каким образом были получены данные по модели WRF и на какой срок интегрировалась модель.

Ответ: Спасибо, добавили описание. Строки 298–312.

Выходная продукция модели WRF – это трехмерные данные об атмосфере в высоком пространственном (6 км) и временном (1 час) разрешении. По вертикали нижний уровень находится на высоте примерно 30 м, а верхний – 50 гПа. Начальными и граничными условиями послужили данные оперативного анализа GFS (Global Forecast System, NOAA, USA).

Эксперимент проведен для периода 2015–2023 гг. Во избежание дрейфа результатов моделирования, была применена процедура спектрального подталкивания, в которой атмосферная динамика размером более 500 км привязывалась к GFS, а малые возмущения являются продуктом модели WRF.

В качестве входных данных с низким разрешением для исследуемых моделей статистического масштабирования используются данные, полученные из билинейной интерполяции данных глобального климатического реанализа ERA5 на сетку WRF с часовым разрешением по времени. Набор целевых данных с более высоким разрешением представлен данными описанной выше модели WRF с такими же временными интервалами.

Рецензент: Почему нельзя было использовать в качестве истинных начальные данные для WRF вместо данных моделирования?

Ответ: Мы согласны, что, можно было бы использовать такие данные. Но без ограничения общности было принято решение протестировать именно такое сочетание полей низкого и высокого разрешения. Сочетание других вариантов низкого и высокого разрешений, безусловно, продемонстрирует другие особенности решения задачи, однако мы не ожидаем существенного нарушения обнаруженного свойства нейросетей выучивать отображение полей низкого разрешения в высокое.

Рецензент: Чтобы правильно интерпретировать результаты, представленные в Таблице 1, ее следует дополнить данными об ошибке реанализа ERA5 в сравнении с данными моделирования WRF.

Ответ: В таблицу 1 добавлен столбик с данными об ошибке билинейной интерполяции реанализа в сравнении с WRF, что показывает преимущество нейросетевого метода над опорным по выбранным метрикам.

Рецензент: В своем исследовании авторы указывают, что Rortex-критерий не может четко определить границы вихря, (с. 502) поэтому в работе «Для установления

границы КВС и оценки радиуса использовался метод перераспределения точек». (с. 510–511). В работе не приводится обоснование выбора данного метода и количественная оценка качества его работы.

Ответ: Спасибо, описание алгоритма перераспределения точек было исключено, так как в работе не оценивались в дальнейшем геометрические размеры КВС.

Рецензент: Другие замечания.

1. В работе присутствует ряд голословных, не подтвержденных ссылками на литературу, утверждений. Некоторые из них являются неверными. Например, мезомасштабные экстремальные погодные явления слабо предсказуемы с использованием глобальных моделей атмосферной циркуляции и не слишком достоверно представлены в реанализах. Это связано с недостаточным пространственным разрешением таких информационных продуктов и использованием гидростатических подходов в моделировании. (67–68).

Ответ: Спасибо, формулировка была изменена (с. 85–93).

Несмотря на возможность воспроизведения динамики полярных мезоциклонов с помощью региональных и глобальных гидростатических моделей с высоким разрешением (Stoll et al., 2020; Moreno-Chamarro et al., 2025), эти и другие мезомасштабные экстремальные погодные явления могут быть недостаточно достоверно представлены в глобальных реанализах с низким разрешением. Например, ряд исследований, посвященных, например, новоземельской буре, основываются на моделировании с высоким разрешением (Шестакова, 2016; Ефимов, Комаровская, 2018), что также повышает необходимость высокоразрешенного прогнозирования приповерхностного ветра в прибрежных областях Арктики.

Рецензент: «Для Арктического региона России характерен ряд уникальных мезомасштабных метеорологических явлений, таких, как полярные мезоциклоны...» (64–65)

Ответ: Данное утверждение было удалено.

Рецензент: «... одним из основных механизмов переноса импульса, массы и энергии в атмосфере, что оказывает влияние на локальные особенности погоды, являются вихри»

Ответ: Данное утверждение было удалено.

Рецензент: «Постоянное наличие атмосферных вихрей различного масштаба в Арктическом регионе.» является слабым объяснением необходимости «...разработки надежных методов идентификации вихрей в модельных данных».

Ответ: Данное утверждение было сильно перефразировано (с. 94–103).

Работа (Krinitskiy et al., 2021) подчеркивает важное значение полярных циклонов в процессах взаимодействия атмосферы и океана, а также в океанической циркуляции как на синоптических, так и на климатических временных масштабах. Сильный ветер, возникающий в таких циклонах, усиливает турбулентные потоки тепла с поверхности океана, что развивает глубокую конвекцию в океане. Кроме того, полярные циклоны представляют потенциальную угрозу для инфраструктуры, связанной с добычей нефти и газа на шельфе, а также для морской навигации (Krinitskiy et al., 2021). Таким образом, анализ динамики и характеристик жизненного цикла мезомасштабных явлений в арктическом регионе следует непосредственно связать с оценкой качества воспроизведения полей приповерхностного ветра той или иной моделью.

Рецензент: «...большинство исследований, посвященных, например, новоземельской буре, основываются на моделировании с высоким разрешением ...», потом же на с. 91–93 авторы пишут, что «Для получения полного пространственного покрытия используются данные атмосферных реанализов и – низкоразрешенных моделей с разрешением сетки от десятков до сотен километров...».

Ответ: Было убрано предложение про полное пространственное покрытие, но оставлено обоснование необходимости масштабирования низкоразрешенных данных (с.104-109)

Данные атмосферных реанализов и низкоразрешенных моделей с разрешением сетки от десятков до сотен километров позволяют учитывать только крупные особенности рельефа подстилающей поверхности и требуют применение методов повышения пространственного разрешения (масштабирования) для получения данных о ветре с высоким разрешением, поскольку в реальности характерные масштабы изменения атмосферных полей над сложным рельефом гораздо меньше (Резвов и др., 2024).

Рецензент: какое отношение «метрики качества» (с. 117–132) имеют отношение к теме работы? Почему на основе этих рассуждений делается заключение следующего вида: «Таким образом, целью настоящей работы является оценка динамики атмосферы по результатам нейросетевого масштабирования полей приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морями».

Ответ: Лишние рассуждения про метрики были исключены. Оставлен только абзац, описывающий возможность существования оценки качества масштабирования по анализу мезомасштабных явлений: (с. 125–138).

Метрики качества помогают оценить, насколько эффективно набор выходных данных модели разрешает ключевые геофизические явления, важные для конкретной задачи и географической области (Jagannathan et al., 2020; Reed et al., 2022; Резвов и др., 2024). Главной проблемой классических метрик является то, что они не учитывают информацию о пространственной структуре полей геофизических переменных. В работе (Davis et al., 2006) впервые представлена систематизированная концепция феноменологического (object-based) метода, основанного на идентификации некоторых «объектов» в полях геофизических переменных и сравнении их атрибутов по данным моделирования/прогноза и фактическим данным. Примерами таких «объектов» могут являться, например, рассмотренные выше полярные мезоциклоны и новоземельская бора. Целью настоящей работы является анализ динамики атмосферы по результатам нейросетевого масштабирования полей приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морями на основе оценки качества воспроизведения мезомасштабных атмосферных явлений.

Рецензент: Раздел 1. с. 327–335. Первое и второе предложение в данном абзаце логически не связаны.

Раздел 2, с. 377–381. Недостатки метода идентификации вихревых структур были устранены в работах Lugt, 1979 и др.

Ответ: Данные фрагменты были исключены целиком

Рецензент: Статья не является обзорной, поэтому должна представлять результаты авторских исследований. Информация, не имеющая прямого отношения к исследованию должна быть удалена. В разделе 1 «Особенности гидрометеорологических условий..» последовательно рассуждается о 1) меридиональных и тропосферных потоках, 2) арктическом фронте, 3) струйном течении, 4) Северо-атлантическом и Арктическом колебаниях, 5) мезомасштабе и пр. Какое отношение данный обзор имеет к результатам исследования? Обзор конкретных циркуляционных режимов и атмосферных явлений является целесообразным только в том случае, когда в работе устанавливается их взаимосвязь с исследуемым процессом в контексте полученных результатов. В противном случае рассуждения о Северо-атлантическом и Арктическом колебаниях, струйных течениях не несут никакого смысла. С таким же успехом наряду с введением понятий струйного течения (с. 217–223) и классификации метеорологических явлений (с. 271–281) можно процитировать классические работы о составе и структуре атмосферы.

Ответ: Спасибо! Данные рассуждения, как не имеющие отношения к дальнейшей работе, были сокращены до нескольких строк (с. 53–59).

В арктическом регионе преобладающими являются зональные западные переносы. При этом атмосферная циркуляция в Арктике характеризуется положением климатического арктического фронта. Арктический фронт отделяет арктические воздушные массы от масс умеренных широт, при этом районы с высокой повторяемостью циклонов также могут указывать на климатический фронт (Золотокрылин и др., 2014). Одной из особенностей атмосферной циркуляции, связанных, в том числе, с наличием климатического арктического фронта, являются полярные мезоциклоны...

Рецензент: *Аналогично в разделе 2 обсуждаются различные методы для идентификации вихревых структур (с. 379–459), Зачем? Что авторы привнесли нового в эти методы?*

Ответ: Спасибо, мы оставили только описание метода Rortex, непосредственно используемого в настоящей работе (с. 148)

Рецензент: *Раздел Заключение, с. 996–1003. Каждая мера качества имеет преимущества и недостатки по сравнению с другими. Использование специализированных метрик в зависимости от задачи и типа исследования – это нормальная практика. Писать об этом в заключении не нужно – это не результат исследования. Аналогично с. 1004–1010: констатировать общеизвестные факты – это лишнее.*

Ответ: Спасибо, Заключение было полностью переработано в соответствии с полученными результатами.

Рецензент: *Утверждения общего характера, не несущие какого-либо смысла следует исключить из текста работы:*

Ответ: Все такие утверждения были исключены, в том числе, из-за удаления целых фрагментов, не связанных напрямую с исследованием.

Рецензент: *Обороты требующие переформулировки: с. 49–50. «Ветер является результатом градиента атмосферного давления и свойств подстилающей поверхности...».*

Ответ: Данный фрагмент был исключен

Рецензент: *с. 82–83. «Анализ динамики мезомасштабных вихрей в целом значительно улучшает понимание механизмов турбулентного взаимодействия...» – взаимодействия с чем?*

Ответ: Данный фрагмент был исключен

Рецензент: *с. 89–91. «Прямые измерения ветра, например, на метеостанциях, можно использовать для определения статистики ветра, однако такие наборы данных ограничены в пространстве разреженностью точек измерений». Что означает «ограниченность в пространстве» прямых измерений? Почему авторы не пишут о косвенных данных, источником которых являются данные спутниковых измерений?*

Ответ: Данный фрагмент был исключен, мы сосредоточились только на повышении разрешения низкоразрешенных моделей (с. 104–111).

Рецензент: *с. 378. «.. критерий не инвариантен ..» – относительно чего?*

Ответ: Данный фрагмент был исключен.

Рецензент: *с. 467. « выбран для уменьшения влияния поверхностного трения незначительно и повышения надежности».*

Ответ: Спасибо, исправили.

Для более правильного расчета Rortex-критерия использовались данные о ветре на высоте изобарической поверхности 850 гПа вместо приповерхностного ветра для уменьшения влияния поверхностного трения на выявление когерентных вихревых структур.

Рецензент: с. 587–589. « Эта модель является негидростатической и базируется на полностью сжимаемой термодинамической системе уравнений, что означает, что в ее динамическом ядре решается полная система уравнений без упрощений.» Что имеется в виду под «полной системой уравнений»?

Ответ: Данный фрагмент был исключен (с. 261–277)

Рецензент: с. 607–608. «Домен WRF позиционирован таким образом, чтобы максимально покрывать Баренцево и Карское моря.» – имеется в виду, что расчетная область полностью покрывает интересные регионы?

Ответ: Спасибо, вместо описания вставили в текст рисунок домена (рисунок 1).

Рецензент: с. 774. «.. используя функциональное соотношение, описанное в Главе 2» – о каком соотношении идет речь?

Ответ: Данный фрагмент исключили, оставлена ссылка, где описан алгоритм Adam.

Рецензент: Название первого пункта раздела 5 следует изменить: результаты могут быть моделирования, но не метрик качества.

Ответ: Спасибо, убрали деление на пункты в разделе с результатами

Рецензент: Неверные утверждения:

с. 149-150. «Меридиональный — перенос представляет собой устойчивые и относительно прямолинейные тропосферные потоки на высоте 3-5 км.» – авторы забывают, что «перенос» осуществляется в сферической геометрии, где траектории редко бывают «прямолинейными».

с. 553. «.. скорость ветра, умноженная на разницу температуры поверхности океана и температуры воздуха, суммированная по всем точкам кластера. Последняя величина пропорциональна потоку явного тепла. Это так в классическом подходе Мони́на-Обухова. В современных моделях атмосферы формулы для расчета потоков явного тепла включают поправки для учета безветренной погоды.

Ответ: Спасибо, оба фрагмента были исключены целиком из исследования.

Рецензент: Другие замечания:

Авторы не указывают версию модели WRF, которая используется в работе.

Ответ: Спасибо, описание модели WRF было доработано (с. 261–277)

Для решения задачи статистического масштабирования приповерхностного ветра в качестве данных в высоком разрешении используется результат негидростатического атмосферного моделирования WRF версии 4.1 с исследовательским динамическим ядром WRF-ARW (Weather Research and Forecast model Advanced Research core) (Skamarock et al., 2019).

Модель WRF обладает значительным потенциалом, так как для каждого из таких процессов доступен широкий выбор схем параметризации, которые имеют свои преимущества в зависимости от региона. Например, работа (Oberto et al., 2012) анализирует точность воспроизведения атмосферных осадков, что является ключевым показателем для арктического региона, показывая, что модель WRF хорошо воспроизводит осадки, особенно в весенний и летний периоды. Авторы исследования (Dong et al., 2018) утверждают, что WRF хорошо справляется с моделированием сильного и устойчивого приповерхностного ветра в арктическом регионе. В работе (Gavrikov, Gulev, 2020) также показано, что модель WRF демонстрирует хорошее

соответствие с данными наблюдений, как по количеству осадков, так и в воспроизведении циклонов, полей приповерхностного ветра и турбулентных потоков. Все эти параметры имеют критическое значение для работы в арктических условиях.

Рецензент: с. 633. «глобального климатического реанализа ERA5».

с. 637–639. для компонент скорости ветра следует использовать общепринятую терминологию: «ортогональные горизонтальные компоненты скорости ветра» зональный и меридиональный компоненты скорости ветра.

с. 871. «низкой скоростью».

Ответ: Спасибо, данные и другие найденные опечатки были исправлены.

С уважением, авторский коллектив. 07.06.2025

От редакции: ответ и доработанная версия статьи были направлены редакцией рецензенту.

Этап № 2.

Статья была существенным образом доработана. Небольшие замечания:

1. *ссылка не по делу:* с. 5: Работа (Резвов и др., 2024) не содержит результаты исследований о важности определения «скорости ветра» для задачи «минимизации последствий чрезвычайных ситуаций природного характера», поэтому является лишней.
2. *ссылка не по делу:* с. 83. В работе (Кошкина и др., 2024) рассматриваются методы идентификации когерентных структур, но не новые механизмы образования боры.
3. с. 129. Что такое классические метрики? Зачем во введении присутствует абзац 126–135? Оценка работоспособности предложенного метода разными способами – вполне естественный подход. Сравнение метрик не является предметом статьи.
4. В названии, ключевых разделах и в заключении статьи написано о приповерхностном ветре. При этом для расчета kortex-критерия применяется скорость на высоте, соответствующей 1–1.5 км, которая никак не может считаться приповерхностной.
5. с. 220–225. Здесь следует явно указать минимальный шаг по времени в реанализе ERA5.
6. с. 313–316. Почему в качестве предикторов используются заметно скоррелированные температуры поверхности океана и на высоте двух метров? Почему не используется температура на высоте 850 гПа или другой? Бора – это не только ветер, но и перепады температуры.
7. с. 474 и 480. Сравнение времени работы выполнено не корректно: не ясно на каких вычислительных ресурсах осуществлялись расчеты. Вывод об ускорении в 50 раз также зависит от объема задействованных вычислительных ресурсов.
8. с. 570–574. Сколько метеостанций использовалось в работе? За какой период времени рассчитаны представленные в таблице 3 ошибки?
9. с. 608. Что такое WW3? Все аббревиатуры в работе должны быть расшифрованы и, при необходимости, сопровождаться ссылками.
10. Описание ИНС, возможно, следует дополнить обычными для такого рода работ значениями параметров: скорость обучения, общее число параметров нейросети и др.

Авторам следует тщательно поработать над текстом:

1. с. 71. «новоземельская бора – наименее исследованная среди бор».
2. с. 102–394. Как можно связать «анализ динамики» с «оценкой качества»?
3. с. 141. Опечатка.

4. с. 197. Как расстояние можно выражать в «единицах умов сетки»?
5. с. 211–213. Следует переформулировать: «.. атмосферные явления, не являясь «жесткими» объектами, возникают, развиваются и исчезают прямо в данных глобального атмосферного реанализа ..» Здесь же далее: что имеется ввиду под «несглаженными для восприятия человека атмосферные наборы данных»?
6. с. 305. Переформулировать: «атмосферная динамика размером более 500 км привязывалась к GFS»

Общее заключение. После доработки статью можно опубликовать.

Подпись. Рецензент № 2. 23.06.2025.

Ответ рецензенту № 2 на Повторную Рецензию от 23.06.2025 на статью авторского коллектива: В. Ю. Резвов, М. А. Криницкий, А. В. Гавриков «ОЦЕНКА ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА НАД БАРЕНЦЕВЫМ И КАРСКИМ МОРЯМИ».

Мы благодарны за дополнительные замечания по нашей работе. Далее мы представляем рецензенту наши пошаговые ответы.

Замечания рецензента мы выделили **полужирным**. В новой версии статьи исправления и добавления по дополнительным замечаниям выделены желтым цветом.

Рецензент: Ссылка не по делу: с. 52. Работа (Резвов и др., 2024) не содержит результаты исследований о важности определения «скорости ветра» для задачи «минимизации последствий чрезвычайных ситуаций природного характера», поэтому является лишней.

Ответ: Спасибо, мы убрали указанную ссылку.

Рецензент: Ссылка не по делу: с. 83. В работе (Кошкина и др., 2024) рассматриваются методы идентификации когерентных структур, но не новые механизмы образования боры.

Ответ: Спасибо, мы убрали указанную ссылку.

Рецензент: с. 129. Что такое классические метрики? Зачем во введении присутствует абзац 126-135? Оценка работоспособности предложенного метода разными способами – вполне естественный подход. Сравнение метрик не является предметом статьи.

Ответ: Данный абзац был переформулирован так, чтобы подчеркнуть наличие разработанных в научной литературе более сложных феноменологических метрик. Сравнение таких метрик действительно не является предметом статьи, но в терминах метрик качества мы показываем возможность валидации модели, в том числе, по мезомасштабным атмосферным явлениям:

Главной проблемой классических поточечных метрик, например, средней абсолютной ошибки (MAE), среднего квадрата ошибки (MSE), средней квадратической ошибки (RMSE) и др., является то, что они не учитывают информацию о пространственной структуре полей геофизических переменных. В работе (Davis et al., 2006) впервые представлена систематизированная концепция феноменологического (object-based) метода, позволяющего избежать ряд недостатков поточечных метрик и основанного на идентификации некоторых «объектов» в полях геофизических переменных и сравнении их атрибутов по данным моделирования/прогноза и фактическим данным. В настоящей работе, помимо поточечных метрик, в качестве «объектов» для валидации удобно использовать рассмотренные выше полярные мезоциклоны и новоземельскую бору.

Рецензент: В названии, ключевых разделах и в заключении статьи написано о приповерхностном ветре. При этом для расчета *gostex*-критерия применяется скорость на высоте, соответствующей 1–1.5 км, которая никак не может считаться приповерхностной.

Ответ: Спасибо за замечание! Действительно, среди предикторов и целевых переменных в настоящей работе присутствуют компоненты скорости ветра на уровне 850 гПа. Тем не менее, мы считаем эти данные вспомогательными по отношению к основной цели исследования, сформулированной в названии, в ключевых разделах и заключении – масштабированию ветра на уровне 10 м. Более сложная валидация разработанной нейросетевой модели (сравнение с данными метеостанций, анализ интегральных характеристик жизненного цикла когерентных вихревых структур, спектральные характеристики поля ветра в области действия новоземельской бора, воздействие на ветровое волнение) основана именно на воспроизведении поля приповерхностного ветра.

Рецензент: с. 220–225. Здесь следует явно указать минимальный шаг по времени в реанализе ERA5.

Ответ: Спасибо, мы переформулировали данный фрагмент:

Построение траекторий циклонов синоптического масштаба не ограничено временным разрешением, так как расстояния, которые вихри проходят за 1 час – минимальный временной шаг реанализа ERA5 (Hersbach et al., 2016), составляют порядка 40–70 км, в то время как их размеры в поперечнике варьируются от 500 км до более чем 2500 км (Neu et al., 2013).

Рецензент: с. 313–316. Почему в качестве предикторов используются заметно скоррелированные температуры поверхности океана и на высоте двух метров? Почему не используется температура на высоте 850 гПа или другой? Бора – это не только ветер, но и перепады температуры.

Ответ: Спасибо за ценное замечание и идею для дальнейшего исследования. Мы выбрали именно такой набор данных, потому что наибольший перепад при боре как раз оказывается у поверхности между температурой воздуха и температурой поверхности океана, как показано в:

Ефимов В. В., Комаровская О. И. Новоземельская бора: анализ и численное моделирование // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 1. С. 83–96. DOI: 10.7868/S0003351518010099.

Ефимов В. В., Комаровская О. И. Формирование новоземельской бора // Морской гидрофизический журнал. 2017. №. 2 (194). С. 3–11.

Moore G. W. K. The Novaya Zemlya Bora and its impact on Barents Sea air-sea interaction // Geophysical research letters. 2013. Vol. 40. №. 13. P. 3462–3467.

Если учесть, что бора происходит в очень узком приповерхностном слое, есть риск не увидеть ее температурных эффектов на уровне 850 гПа, или увидеть их с большим запозданием.

Рецензент: с. 474 и 480. Сравнение времени работы выполнено не корректно: не ясно, на каких вычислительных ресурсах осуществлялись расчеты. Вывод об ускорении в 50 раз также зависит от объема задействованных вычислительных ресурсов.

Ответ: Спасибо, мы дополнили описание исследования вычислительной эффективности:

Отдельное исследование было посвящено анализу производительности нейросетевой модели статистического масштабирования.

В режиме обучения на всех конфигурациях ИНС продолжительность одной эпохи составила в среднем 6 минут 30 секунд при оптимальной загрузке графического сопроцессора. Таким образом, для максимальных 150 эпох, общая продолжительность обучения не превышает приблизительно 17 часов. В режиме применения общее время

нейросетевого моделирования на датасете продолжительностью 9 лет, с 2015 по 2023 гг., составило 1 час 30 минут. Таким образом, среднее время моделирования одного года составляет около 10 минут.

Для исследования производительности модели WRF были проведены эксперименты на вычислительных ресурсах Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН. Было определено оптимальное количество ядер (256) для используемой конфигурации модели WRF, рассчитывающей прогноз для Арктики. С повышением количества вычислительных ядер производительность возрастает нелинейно. Выше значения 256 ядер производительность не растет. Скорость расчетов при выборе оптимального количества ядер составляет 1 минута 40 секунд за сутки модельного времени. Таким образом, в режиме применения среднее время моделирования одного года составит около 10 часов, что в 60 раз медленнее режима применения статистической нейросетевой модели. Если объединить режим обучения (около 17 часов) и режим применения (около 1,5 часов) для всего набора данных на статистической модели, это по-прежнему будет более чем в 4 раза быстрее, чем на негидростатической модели WRF только в режиме применения.

Рецензент: с. 570–574. Сколько метеостанций использовалось в работе? За какой период времени рассчитаны представленные в таблице 3 ошибки?

Ответ: Мы дополнили данный фрагмент

Для оценки качества детализации приповерхностного ветра данные ERA5, WRF и нейросетевого масштабирования также сравнивались с данными двух метеостанций, расположенных в районе Баренцева моря (Таблица 3) по значениям модуля скорости ветра в период прохождения полярного мезоциклона с 13 по 15 февраля 2022 года.

Рецензент: с. 608. Что такое WW3? Все аббревиатуры в работе должны быть расшифрованы и, при необходимости, сопровождаться ссылками.

Ответ: Спасибо, мы дополнили описание волновой модели и добавили ссылку

Далее проводится оценка ветрового волнения, смоделированного при замене граничных атмосферных условий ветрового моделирования. В настоящей работе для оценки качества нейросетевого масштабирования рассматривается модель WAVEWATCH III версии 6.07.1 (WW3). WW3 основана на решении сеточными методами уравнения баланса спектрального волнового действия в приближении фазового осреднения (WW3DG, 2019).

Рецензент: Описание ИНС, возможно, следует дополнить обычными для такого рода работ значениями параметров: скорость обучения, общее число параметров нейросети и др.

Ответ: Спасибо, мы расширили описание ИНС (с. 426–432)

Рецензент: с. 71. «новоземельская бора — наименее исследованная среди бор»

Ответ: Мы исправили данное предложение:

Еще одним характерным мезомасштабным атмосферным явлением в данном регионе является новоземельская бора.

Рецензент: с. 102–194. Как можно связать «анализ динамики» с «оценкой качества»?

Ответ: Спасибо, мы переформулировали данное предложение

Таким образом, о воспроизведении полей приповерхностного ветра той или иной моделью в арктическом регионе можно судить, в том числе, по качеству воспроизведения характеристик жизненного цикла мезомасштабных явлений.

Рецензент: с. 141. Опечатка.

Ответ: Спасибо, исправили.

Рецензент: с. 197. Как расстояние можно выражать в «единицах узлов сетки»?

Ответ: Спасибо, переформулировали:

Обязательными гиперпараметрами алгоритма, таким образом, является максимальная дистанция ε (выраженная в условных единицах, равных стороне ячейки сетки) между точками внутри одного кластера...

Рецензент: с. 211-213. Следует переформулировать: «.. атмосферные явления, не являясь «жесткими» объектами, возникают, развиваются и исчезают прямо в данных глобального атмосферного реанализа ..» Здесь же далее: что имеется ввиду под «несглаженными для восприятия человека» атмосферные наборы данных?

Ответ: В данном фрагменте были исключены противоречивые рассуждения о проблемах трекинга атмосферных явлений:

В (Krinitskiy et al., 2021) отмечается принципиальное влияние соотношения скорости атмосферных объектов и разрешения атмосферных данных по времени на задачу построения траекторий таких объектов. Построение траекторий циклонов синоптического масштаба не ограничено временным разрешением, так как расстояния, которые вихри проходят за 1 час – минимальный временной шаг реанализа ERA5 (Hersbach et al., 2016),...

Рецензент: с. 305. Переформулировать: атмосферная динамика размером более 500 км привязывалась к GFS.

Ответ: Спасибо, переформулировали.

Эксперимент проведен для периода 2015–2023 гг. Во избежание дрейфа результатов моделирования была применена процедура спектрального подталкивания атмосферной динамики с характерным размером, превышающим 500 км.

С уважение, авторский коллектив. 25.06.2025.

От редакции: ответ и доработанная версия статьи были направлены редакцией рецензенту.

Подтверждение Рецензента № 2 на публикацию:

Здравствуйтесь.

Работа была существенным образом доработана. Небольшие замечания:

1. с. 80–81. что имеется ввиду под «фоновыми» потоками? Если это слово лишнее, то в предложении следует заменить восток на запад: «..воздушные потоки направлены на восток, холодная воздушная масса из Карского моря пересекает хребет Новой Земли и попадает на более теплую поверхность Баренцева моря..».

2. с. 89–90. Повтор слова "например".

3. с. 200. «максимальная дистанция (выраженная в условных единицах, равных стороне ячейки сетки) между точками внутри одного кластера» – речь идет о числе шагов сетки, поскольку шаг сетки неравномерный?

4. с. 426. Опечатка.

Общее заключение. Статью можно опубликовать.

Подпись. Рецензент № 2. 28.06.2025.

От редакции: рекомендации были внесены, повторное рецензирование не требуется.
28.06.2025.