

## РЕЦЕНЗИЯ № 2

на статью «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОГЕРЕНТНЫХ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ» авторского коллектива: В. С. Кошкина, А. В. Гавриков

Работа нацелена на исследование возможности автоматической идентификации долгоживущих мезомасштабных атмосферных вихрей и мониторинга их параметров. Реализация этой возможности, в первую очередь, зависит от умения автоматически выделять такие вихри в пространстве поступающих данных. Одним из основных препятствий для развития этого направления является отсутствие общепринятого математического определения вихря. Существует некоторый набор критериев выделения долгоживущих вихрей, обладающих определенными достоинствами и недостатками. Данная работа посвящена исследованию применимости этих критериев для идентификации мезомасштабных атмосферных вихрей на примере модельных вихревых структур. Для исследования были выбраны наиболее широко используемые эйлеровы методы идентификации вихрей –  $Q$ ,  $\Delta$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_{ci}$  и Rortex критерии. Результаты исследования показали, что Rortex-критерий является наиболее надежным и перспективным для практического использования, а также, он позволяет определять направление вращения вихрей (циклоническое, или антициклоническое). Использованный метод кластеризации данных DBSCAN позволил установить геометрические размеры вихрей. Этот метод может быть применен в дальнейших натурных исследованиях, в том числе для уточнения статистики мезомасштабных атмосферных вихрей по размеру и знаку вращения.

Работа представляется важной и полезной, в том числе, для океанологии, поскольку методы автоматической идентификации долгоживущих атмосферных вихрей могут быть перенесены на подобные им океанские вихри. Она обладает новизной и актуальностью и целесообразность ее опубликования в журнале «Океанологические исследования» не вызывает сомнений. Вместе с тем, рецензируемой статье присущи некоторые недостатки, которые желательно устранить до ее публикации. Их можно разделить на две категории: общие и частные.

Главным общим недостатком является «шероховатость» изложения – языковые проблемы. Конкретные замечания этого характера будут представлены в разделах частных недостатков. Кроме того, затрудняет восприятие материала не вполне устоявшаяся терминология. Авторы то говорят о вихрях различного масштаба, включая «микромасштабные» вихри, то о когерентных структурах, считая, видимо, что это синонимы. На самом деле, это не так. Когерентные структуры – более широкое понятие, чем долгоживущие вихри. Они широко присутствуют, например, в волновых процессах, имеющих мало общего с вихревыми движениями. По сути дела авторы пытаются идентифицировать долгоживущие и достаточно крупные атмосферные вихри. При этом понятие «долгоживущие» означает, по-видимому, что вихрь мало изменяется на масштабах времени, существенно превышающем временной интервал поступления данных. Понятие «достаточной крупности» заключается в том, что размеры вихрей существенно превышают пространственный шаг поступающих данных. Эти два условия желательно сформулировать в начале статьи. Тогда можно избежать использования не четко определяемого термина «когерентные структуры» (КС). Если авторы, так или иначе, привязаны к этому термину, предлагается уточнить его и использовать термин «когерентные вихревые структуры» (КВС).

В тексте статьи довольно часто звучат слова «климат» и «климатические данные» без особого на то основания. Понятно, что проблемы, связанные с климатом Земли и его изменчивостью, особенно быстрой в современную эпоху, являются одними из наиболее важных, в том числе, в геофизических исследованиях. Авторы правильно делают, что

имеют их в виду как научную перспективу. Но между данной работой и решением климатических проблем, цитируя классика русской литературы, «дистанция огромного размера». По сути дела, представленная к публикации работа достаточно хороша и без навязчивых апелляций к задачам изучения климата Земли.

#### Частные замечания.

1. Название звучит неуклюже и не отражает основного содержания статьи. Ее следовало бы назвать примерно так: Исследование критериев идентификации мезомасштабных атмосферных вихрей в модельных экспериментах. Но окончательный выбор названия – за авторами.

2. Аннотация слишком длинная и содержит общие фразы, часть из которых имеют сомнительное содержание. Например, такое: «... вихри всех масштабов играют значительную роль и в климатической системе Земли». Откуда это следует и причем здесь «климатическая система»? Звучит нелепо.

3. Введение, строки 41–52: избылиуют общие фразы и утверждения, содержание которых не подкреплено ссылками на конкретные источники.

*Стр. 57–59:* фраза не согласована.

*Стр. 73:* «...он значительно более требователен...». Требовательны – начальники, а методы – трудоемки.

*Стр. 86:* «...в данных геофизического масштаба». Что это такое?

*Стр. 93:* «...в невращающихся полях скорости». Тоже непонятно.

*Стр. 157:* «Модель ЛО...» Сокращение ранее не использовалось, нужно пояснить, что это модель вихря Лэмба-Осеена.

*Стр. 235:* последняя формула, которая пронумерована. Далее – формулы без номеров, хотя нумерация облегчила бы ссылки на них. К нумерации формул следовало бы подойти более логично.

*Стр. 255:* отсутствует выражение для градиента скорости.

*Стр. 301 и 306:* одной и той же буквой обозначены скалярная и векторная величины. Следует внести различие в их обозначение.

*Стр. 320:* «...синтетического вихря (ЛО)»...Ранее понятия синтетического вихря не вводилось. По сути дела, его лучше обозвать «парным».

*Стр. 348:* «Идеализированное моделирование...». Моделирование всегда сопровождается идеализацией натурального процесса. Желательно указать, в чем заключалась идеализация в данном случае.

*Стр. 357:* «...избыточно шума...» лучше сказать, «много шума», ибо термин «избыточно» содержит не предъявляемую количественную меру.

*Стр. 361:* рис. 2: следует пояснить в подписи, что означает зеленое пятно в центре вихря? Это результат расчета (максимум критерия), или символическое обозначение?

*Стр. 387:* «...для плотностной кластеризации данных». Наряду со ссылкой на литературный источник, следует кратко пояснить, что это такое.

*Стр. 398:* «...большого количества вихрей меньше эффективного разрешения данных». Как-то нескладно, лучше сказать «...большого количества вихрей с размером меньшим, чем масштаб эффективного разрешения данных».

*Стр. 413:* подпись к рис. 3: «...выделенная радиальным методом граница...». Ранее этот метод не упоминался, следует его пояснить.

*Стр. 418:* название раздела: «Итоги и обсуждения. М. б., лучше так: «Обсуждение и выводы»?

*Стр. 421:* «...микромасштабной турбулентности...». В русскоязычной литературе общепринятым является термин «мелкомасштабная турбулентность».

*Стр. 439–440:* «...основан на выделении твердотельного вращения». М. б., «области твердотельного вращения»?

*Стр. 446:* «...к климатическим данным высокого разрешения...». М. б., «к атмосферным данным высокого разрешения»? Климат ведь здесь не при чем. Справка:

известный геофизик А. С. Монин определял климат как статистический ансамбль состояний, который проходит система взаимодействия атмосферы, гидросферы и земной коры на масштабе времени не менее 30 лет. Поэтому выражение «климатические данные высокого разрешения» звучит абсурдно.

*Стр. 447:* «...статистические характеристики вращающихся структур». М. б., сказать попросту – «вихревых структур»?

*Стр. 449–450:* «...и расчет климатических трендов». Тренды каких характеристик имеются в виду? Желательно уточнить.

Как уже говорилось ранее, указанные выше недостатки не изменяют положительного отношения рецензента к данной работе. Замечания носят рекомендательный характер и дело авторов, какие из них принять во внимание, а какие – нет.

**Подпись. Рецензент № 2. 12.08.2024.**

**От редакции:** рецензия была направлена авторскому коллективу.

**Ответ рецензенту № 2 на Рецензию от 12.08.2024 на статью авторского коллектива: В. С. Кошкина, А. В. Гавриков «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОГЕРЕНТНЫХ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ».**

Авторы благодарны Рецензенту за внимательное прочтение работы и конструктивную критику. В первую очередь, были учтены предложения относительно формулировок и терминологии, чтобы сделать изложение более четким и понятным для читателей. В данном контексте, согласно рекомендациям уважаемого Рецензента, авторы внесли в текст статьи следующие изменения:

**1. Уточнен термин «когерентные структуры» (КС):**

Когерентные структуры играют важную роль в различных процессах динамики жидкости и часто ассоциируются с вихрями. В геофизике подобные когерентные вихревые структуры (КВС) оказывают влияние на всех масштабах движения.

**2. Сформулированы условия «долгоживучести» «достаточной крупности»:**

Здесь и далее понятия «вихрь» и «когерентная вихревая структура» (КВС) являются синонимичными и характеризуют структуры, мало изменяющие свою структуру на масштабах времени, превышающем временной интервал поступления данных. Кроме того, размеры вихрей должны более чем в 5 раз превышать пространственный шаг поступающих данных.

Однако стоит отметить, что в работе сделан акцент на возможность выделения вихрей любого масштаба, ограниченного только разрешением входящих данных, а не физикой.

Также мы осознаем, что связь нашей работы с климатическими исследованиями не является прямой, и в ходе правки постарались усилить акцент на методах идентификации вихрей, не затрагивая вопросы климата.

Переходя к подробному анализу частных замечаний, были доработаны следующие недочеты:

**Рецензент:** *1. Название звучит неуклюже и не отражает основного содержания статьи. Ее следовало бы назвать примерно так: Исследование критериев идентификации мезомасштабных атмосферных вихрей в модельных экспериментах. Но окончательный выбор названия – за авторами.*

**Ответ:** Мы до конца разделяем позицию рецензента относительно названия статьи: *«Название звучит неуклюже и не отражает основного содержания статьи. Ее следовало бы назвать примерно так: Исследование критериев идентификации мезомасштабных атмосферных вихрей в модельных экспериментах».* Однако осознаем необходимость внесения изменений для лучшего соответствия содержанию и предлагаем следующий вариант:

*«Исследование применимости методов идентификации когерентных вихревых структур в модельных экспериментах»*

**Рецензент:** 2. Аннотация слишком длинная и содержит общие фразы, часть из которых имеют сомнительное содержание. Например, такое: «... вихри всех масштабов играют значительную роль и в климатической системе Земли». Откуда это следует и причем здесь «климатическая система»? Звучит нелепо.

**Ответ:** В ответ на замечание «Аннотация слишком длинная и содержит общие фразы, часть из которых имеют сомнительное содержание», предложен следующий вариант аннотации, из которого также были убраны апелляции к климатической системе:

*Когерентные вихревые структуры (КВС)* – устойчивые во времени вихри, которые оказывают существенное влияние на процессы переноса импульса, тепла и массы в любой жидкой среде, включая атмосферу и океан. В настоящий момент наиболее изученными в геофизике являются крупные вихри (циклоны), в то время как мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в атмосфере и океане остаются в «серой зоне», особенно мало информации об их влиянии на климатическом масштабе. Для климатической оценки требуется умение автоматически выделять КВС в пространственных данных (например, в данных численного моделирования). Главное препятствие для развития этого направления – отсутствие строгого математического определения вихря. Некоторые разработки в этом направлении были проведены в области мелкомасштабной турбулентности, в которой разрабатывается ряд эйлеровых критериев вихревого состояния. Главным преимуществом этой методологии является способность идентифицировать вихревые движения любого масштаба и в любой сплошной среде, минимальный размер вихря определяется исключительно пространственным разрешением используемых данных. Данная работа посвящена исследованию применимости эйлеровых методов идентификации к значительно более крупномасштабным геофизическим данным.

Для исследования были выбраны наиболее широко используемые локальные (эйлеровы) методы идентификации вихрей –  $Q$ ,  $\Delta$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_{ci}$  и Rortex критерии. Работа демонстрирует сравнение трех поколений методов идентификации вихря (МИВ), примененных на идеализированных двух- и трехмерных вихрях.

Исследование показало, что Rortex-критерий является наиболее перспективным в случае идентификации атмосферных мезомасштабных процессов: он наиболее надежно определяет КВС, а также направление и ось ее вращения. Для разделения полученных данных на отдельные структуры использовался метод кластеризации DBSCAN, что дает возможность оценить геометрические свойства и различные статистики вихрей. Разработанный подход может быть использован для климатического анализа динамики мезомасштабных вихрей.

**Рецензент:** 3. Введение, строки 41–52: избылуют общие фразы и утверждения, содержание которых не подкреплено ссылками на конкретные источники.

**Ответ:** На основе комментария «Введение, строки 41–52: избылуют общие фразы и утверждения, содержание которых не подкреплено ссылками на конкретные источники», были добавлены соответствующие ссылки на литературу:

В атмосфере на синоптических и мезомасштабах, вихри обеспечивают перенос импульса, температуры и массы (см. работу (Zhang et al., 2019) и цитируемые в ней источники) и, как следствие, определяют локальную погоду и климат (Schielicke, 2017). В океане вихри также играют важную роль в переносе свойств водных масс (Prants et al., 2011), что влияет на термохалинную циркуляцию. Они также могут влиять на биологическую продуктивность, обеспечивая перенос питательных веществ (Stramma et al., 2013; Bosse et al., 2017). Помимо этого, понимание динамики мелкомасштабных вихрей значительно улучшает понимание механизмов турбулентного взаимодействия, включая перемешивание, тепло и массообмен (Jiang et al., 2022).

Принято терминологическое замечание о трудоемкости методов:

*Хотя лагранжесв подход предоставляет более подробную информацию, он значительно более трудоемок с точки зрения вычислений.*

В работе под данными геофизического масштаба понимаются процессы, на динамику которых влияет вращение Земли, крупномасштабные циркуляции, а совсем мелкомасштабные турбулентные эффекты уже не столь существенны. В текст добавлено:

*...в данных геофизического пространственного масштаба (порядка 10–30 км).*

В начале блока описания данных добавлено сокращение ЛО:

*...на модели вихря Лэмба-Осеена (ЛО)...*

**Рецензент:** *«Стр. 235: последняя формула, которая пронумерована. Далее – формулы без номеров, хотя нумерация облегчила бы ссылки на них. К нумерации формул следовало бы подойти более логично».*

**Ответ:** согласно правилам оформления статей в журнал «Океанологические исследования», нумеруются только те формулы, на которые в дальнейшем есть ссылки в тексте.

**Рецензент:** *«Стр. 301 и 306: одной и той же буквой обозначены скалярная и векторная величины. Следует внести различие в их обозначение».*

**Ответ:** Важно понимать, что особенность Rortex критерия состоит в его векторной природе. Однако, норма этого вектора R, являющаяся скаляром и обозначенная R, имеет наглядный физический смысл. Как следствие, авторам представляется разумным использование одной и той же буквы.

**Рецензент:** *«Стр. 320: «...синтетического вихря (ЛО)»...Ранее понятия синтетического вихря не вводилось. По сути дела, его лучше обозвать «парным».*

**Ответ:** Введено более раннее упоминание в описании данных:

Были рассмотрены следующие способы генерации вихревых полей: синтетический вихрь – заданное аналитически двумерное поле скорости, основанное на модели вихря Лэмба-Осеена (ЛО)

**Рецензент:** *«Стр. 348: «Идеализированное моделирование...». Моделирование всегда сопровождается идеализацией натурального процесса. Желательно указать, в чем заключалась идеализация в данном случае».*

**Ответ:** В описание идеализированного тропического циклона добавлено пояснение, в чем заключается упрощение:

Его идеализация заключается в том, что в качестве начальных и граничных условий эксперимента используются упрощенные условия для возникновения тропического циклона, а не реальные атмосферные данные, сопровождающие тайфун.

**Рецензент:** *«Стр. 357: «...избыточно шума...» лучше сказать «много шума», ибо термин «избыточно» содержит не предъявляемую количественную меру».*

**Ответ:** Замечание учтено.

**Рецензент:** *«Стр. 361: рис. 2: следует пояснить в подписи, что означает зеленое пятно в центре вихря? Это результат расчета (максимум критерия), или символическое обозначение?».*

**Ответ:** Зеленое пятно – это результат расчета критерия (более насыщенная заливка зеленого цвета означает более интенсивное циклоническое вращение)

В описание добавлена фраза:

*«Яркость заливки характеризует интенсивность вращения».*

**Рецензент:** *«Стр. 387: «...для плотностной кластеризации данных». Наряду со ссылкой на литературный источник, следует кратко пояснить, что это такое».*

**Ответ:** Добавлено:

Алгоритм позволяет выделять группы точек (кластеры) произвольной формы, а также идентифицировать шумовые точки, которые не принадлежат ни одному кластеру.

**Рецензент:** «Стр. 398: «...большого количества вихрей меньше эффективного разрешения данных».

**Ответ:** Как-то нескладно, лучше сказать «...большого количества вихрей с размером меньшим, чем масштаб эффективного разрешения данных». Комментарий учтен.

**Рецензент:** «Стр. 413: подпись к рис. 3: «...выделенная радиальным методом граница...».

**Ответ:** Ранее этот метод не упоминался, следует его пояснить». Выше в тексте приведена ссылка на работу, описывающую данный метод:

...граница КВС на основе радиального метода, описанного в работе (Koshkina et al., 2023)...

**Рецензент:** «Стр. 418: название раздела: «Итоги и обсуждения. М. б., лучше так: «Обсуждение и выводы»?»

**Ответ:** Правка принята.

**Рецензент:** «Стр. 421: «...микромасштабной турбулентности...». В русскоязычной литературе общепринятым является термин «мелкомасштабная турбулентность».

**Ответ:** Правка принята.

**Рецензент:** «Стр. 439-440: «...основан на выделении твердотельного вращения». М. б., «области твердотельного вращения»?»

**Ответ:** Правка принята.

**Рецензент:** «Стр. 446: «...к климатическим данным высокого разрешения...». М. б., «к атмосферным данным высокого разрешения»? Климат ведь здесь не при чем».

**Ответ:** Учтено:

...применен к долгопериодным атмосферным данным высокого разрешения...

**Рецензент:** «Стр. 447: «...статистические характеристики вращающихся структур». М. б., сказать попросту – «вихревых структур»?»

**Ответ:** Учтено.

**Рецензент:** «Стр. 449–450: «...и расчет климатических трендов». Тренды каких характеристик имеются в виду? Желательно уточнить.»

**Ответ:** Добавлено:

...получение климатических трендов количеств, размеров и интенсивности КВС...

Мы будем рады ответить на любые дополнительные вопросы и комментарии, которые у вас могут возникнуть. Спасибо за Вашу обратную связь!

**С уважением, авторский коллектив. 05.09.2024.**

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

## **Подтверждение Рецензента № 2 на публикацию:**

Уважаемая редакция!

Я удовлетворен ответом авторов на мои замечания и доработкой статьи с их учетом.

Считаю, что в представленном виде она может быть опубликована в журнале ОИ.

Прошу извинения за задержку с ответом, связанным с моим отъездом из Москвы и пребыванием в экспедиции.

**Подпись. Рецензент № 2. 16.09.2024.**