

## РЕЦЕНЗИЯ № 2

на статью «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ АРГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПОЛЯРНЫХ МОРЕЙ С АТМОСФЕРОЙ, АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ»

авторского коллектива: К. В. Лебедев, А. П. Попов, Б. Н. Филюшкин

### **Этап № 1.**

В работе по данным измерений поплавков Argo за период с 2005 по 2014 гг. с помощью авторской Argo-модели (АМИГО) были рассчитаны и исследованы среднегодовые величины полей температуры, солёности, плотности и скорости течений Полярных морей (Норвежского и Гренландского, ПМ). Цель работы заключалась в анализе межгодовой и сезонной изменчивости балансов тепла в области ПМ. Работа написана хорошим научным языком. Важность данных с дрейфующих измерителей международной программы Argo несомненна, а их правильная обработка позволяет исследовать изменчивость теплообмена и также проводить оценки переносов массы и солей на морских акваториях. По результатам расчетов были получены климатические, среднегодовые и сезонные величины потоков тепла на четырех разрезах, оконтуривающих область Полярных морей. В работе показано, что заметная разница амплитуд поступления в область тепла с течениями и его уход в результате обмена с атмосферой на 90 % связана с изменением теплосодержания океана, а остающиеся 10 %, предположительно, обусловлены процессами образования и таяния льда, которые являются энергетически достаточно затратными.

### **Общие замечания по статье:**

1. В работе используются уже устаревшие исходные массивы данных как по атмосфере (ERA-Interim), так и по океану WOA2009, имеющие одно градусное разрешение по пространству. Сейчас в открытом доступе имеются более точные данные ERA5 и WOA2018, имеющие  $\frac{1}{4}$  градусное разрешение. Рецензент не считает, что это является препятствием для опубликования статьи. Просто в статье нужно обосновать, почему используются более грубые и менее точные данные. Более того, если автор планирует использовать новые данные в будущем для повторения исследований, то это было бы интересно само по себе, т. к. был бы дан ответ, что дает более высокое разрешение для представленной технологии. Так, например, Восточно-Гренландское течение на одноградусном разрешении недостаточно выражено, как это имеет место в природе.
2. В строках 116 –118 вскользь упоминается метод диагноза- адаптации А. С. Саркисяна. Необходимо более точно его описать. Он назван автором как «гидродинамическая адаптация». Во-первых, проводился ли этап диагноза, как то требовалось в методе Саркисяна. Во-вторых, слово гидродинамический не полностью отражает суть метода и лучше его заменить на «гидротермодинамическая», т. к. под адаптацией понимается согласование полей течений с термохалинными. В-третьих, нет ссылки на итоговую по этому методу работу А. С. Саркисяна (*Sarkisyan A.S., Sündermann J.E., 2009, DOI: 10.1007/978-1-4020-9208-4*), а также на работы (*Дианский, Багатинский, 2019, DOI: 10.31857/S0002-3515556157-170; Багатинский, Дианский, 2021, DOI: 10.31857/S0002351521020024; Diansky et al., 2022, DOI: 10.1007/978-3-030-78927-5\_1*), в которых метод диагноза-адаптации плодотворно применялся для исследования термохалинной циркуляции океана. В-четвертых, необходимо хотя бы в нескольких предложениях описать как методологию восстановления циркуляции, так и модель, с помощью которой это делается. Иначе полученные результаты теряют объективность.
3. Описание методологии приведено недостаточно полно. Так, не сказано, что подразумевается под потоками тепла из океана: какие составляющие используются для

его расчета. Не сказано, как рассчитываются адвективные потоки на жидких границах. Рисунок 2б дан практически без описания. Следует описать, что подразумевается под потоком влаги из океана в атмосферу. По сути это просто испарение. Однако, судя по значениям на рис. 2б, очевидно, что этот поток включает в себя и осадки и сток рек, т.е. поток влаги в океан. И вообще, если целью статьи «является анализ межгодовой и сезонной изменчивости балансов *тепла* в области ПМ», а не пресной воды, пояснить, зачем вообще нужен рис 2б.

4. В аннотации написано, что «Показана связь аномальных сезонных колебаний теплопереносов с изменчивостью индекса Североатлантического колебания». Однако из текста статьи не следует, что эта связь показана.
5. В первых строках заключения написано, что «По результатам проведенных исследований можно констатировать, что массив измерений Argo позволил построить достоверные карты пространственной изменчивости термохалинных полей и рассчитать с использованием Argo-модели поля течений для всей акватории Полярных морей». Однако степень достоверности результатов нужно показывать статистически, рассчитав, например, уровень ошибок и путём верификации с данными наблюдений и/или с другими исследованиями. Этого в статье не было сделано. Поэтому рецензент предлагает «смягчить» это довольно самоуверенное утверждение, например, сделав скидку на довольно грубое, по сравнению с настоящим уровнем моделирования, пространственным разрешением.

**Обнаруженные редакционные (построчные) замечания по тексту статьи (если есть):**

Строка 128: неправильное окончание: «...также среднеклиматическими для 2005–2014 гг. данными (17 полей, включающие ...).

Строки 157–158: написано не «литературным языком»: «... гидрологический режим ПМ хорошо изучен и существует огромная литература, знакомая авторам, но в статье приведено минимальное число ссылок. Кроме того, выражение «огромная литература» – это жаргонизм.

Строка 320: Написано «Среднее *изменением теплосодержания*...». Исправить.

**Резюме рецензента:** Статья требует технической доработки.

**Подпись. Рецензент № 2. 17.12.2024.**

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

**Ответ рецензенту № 2 на Рецензию от 17.12.2024 на статью авторского коллектива: К. В. Лебедев, А. П. Попов, Б. Н. Филюшкин «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ АРГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПОЛЯРНЫХ МОРЕЙ С АТМОСФЕРОЙ, АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ».**

Авторы благодарны уважаемому Рецензенту за внимательное прочтение рукописи и сделанные замечания. В доработанный текст статьи внесены изменения согласно всем основным рекомендациям уважаемого Рецензента. Были устранены все мелкие помарки, сделаны необходимые уточнения в проблемных местах, существенно доработан раздел, посвященный описанию методики модельных расчётов, в тексте статьи для рис. 2 сделаны уточнения по расчётам потоков, добавлены все рекомендованные ссылки.

*Замечание 1* – относительно ремарки уважаемого Рецензента о том, что «в работе используются уже устаревшие исходные массивы данных», поясняем, что данная статья завершает цикл работ авторов по исследованиям в области Полярных морей (Норвежского и Гренландского) по данным АМИГО (Лебедев, 2016), поэтому в настоящей работе были использованы именно та версия данных АМИГО, что и в предыдущих ей статьях.

*Замечание 2* – в текст внесены соответствующие пояснения, дополнения и ссылки. Предложение уважаемого Рецензента заменить термин «гидродинамическая адаптация» на формально более правильный «гидротермодинамическая» не было принято авторами по причине того, создатель методики, академик Саркисян, в совместных с авторами работах использовал именно термин «гидродинамическая адаптация», и авторы не хотели бы этот термин менять.

*Замечание 3* – в текст за рис. 2 внесены все необходимые пояснения и дополнения.

*Замечание 4* – текст аннотации исправлен.

*Замечание 5* – формулировка заключения исправлена.

Отмеченные уважаемым Рецензентом редакционные (построчные) замечания по тексту статьи исправлены.

Авторы очень признательны уважаемому Рецензенту за проделанную им большую работу по рецензированию рукописи, позволившую заметно поднять качество изложения материалов исследования.

**С уважением, авторский коллектив. 20.12.2024.**

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

#### **Этап № 2.**

Авторы статьи постарались внести в статью исправления. Однако главный недостаток статьи остался. А именно: можно было бы провести верификацию всех полученных в статье результатов по вполне доступным данным современных океанских реанализов, что сделать было бы не так уж и сложно. Без такого сопоставления полученные результаты как бы абсолютизируются без должного обоснования. Более того, это повысило бы ценность оригинальных авторских результатов и их объективность. Однако мнение рецензента не может быть истиной в последней инстанции, и рецензент не может настаивать на своем видении проблемы воспроизведения циркуляции океана. Поэтому он оставляет за редколлегией журнала решение об опубликовании статьи в представленном виде.

**Подпись. Рецензент № 2. 22.12.2024.**

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

**Ответ рецензенту № 2 на Повторную Рецензию от 22.12.2024 на статью авторского коллектива: К. В. Лебедев, А. П. Попов, Б. Н. Филюшкин «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ АРГО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПОЛЯРНЫХ МОРЕЙ С АТМОСФЕРОЙ, АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ».**

Авторы благодарят Рецензента за проделанную работу и внесли все необходимые исправления, на которые обратил внимание Рецензент. Также, по замечанию 5, которое было сформулировано Рецензентом следующим образом: «В первых строках заключения

написано, что «По результатам проведенных исследований можно констатировать, что массив измерений Argo позволил построить достоверные карты пространственной изменчивости термохалинных полей и рассчитать с использованием Argo-модели поля течений для всей акватории Полярных морей». Однако степень достоверности результатов нужно показывать статистически, рассчитав, например, уровень ошибок и путём верификации с данными наблюдений и/или с другими исследованиями. Этого в статье не было сделано. Поэтому рецензент предлагает «смягчить» это довольно самоуверенное утверждение, например, сделав скидку на довольно грубое, по сравнению с настоящим уровнем моделирования, пространственным разрешением», авторами были сделаны соответствующие изменения, а именно – изменили спорную формулировку «достоверные карты» на нейтральную «адекватные для одноградусной сетки карты».

Авторы хотели бы обратить внимание на то, что в работе анализируются модельные массивы АМИГО, выполненные и выложенные в свободный доступ на сайт ИО РАН в 2015 году. Валидация этих расчётов проводилась как по данным спутниковой альтиметрии Aviso, так и по среднемноголетним измерениям течений в ключевых районах Мирового океана. Расчёты АМИГО продемонстрировали хорошее совпадение с данными многолетних измерений. По результатам анализа расчётов АМИГО в различных районах Мирового океана было опубликовано 12 научных работ в рецензируемых журналах:

1. Argo-Модель Исследования Глобального Океана (АМИГО) // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 2. С. 186–196.
2. Сравнительный анализ поверхностной циркуляции Северной Атлантики, воспроизведенной тремя различными методами // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2016. Т. 52. № 4. С. 465–474.
3. Физические характеристики Гольфстрима как индикатор качества моделирования циркуляции Мирового океана // *Докл. АН*. 2016. Т. 471. № 5. С. 595–598.
4. Обнаружение промежуточных средиземноморских вод в Атлантическом океане по наблюдениям поплавков Argo // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 6. С. 847–857.
5. Evolution of an intrathermocline lens over the Lofoten Basin // *The Ocean in Motion: Circulation, Waves, Polar Oceanography*. Springer Oceanography. Springer International Publishing, Amsterdam. 2018. P. 333–347. doi:10.1007/978-3-319-71934-4\_21.
6. Modeling study of the Antarctic Circumpolar Current variability based on Argo data // *The Ocean in Motion: Circulation, Waves, Polar Oceanography*. Springer Oceanography. Springer International Publishing, Amsterdam. 2018. P. 487–493. doi:10.1007/978-3-319-71934-4\_30.
7. A model study of the wind stress influence on the interannual variability of the Antarctic Circumpolar Current // *Russ. J. Earth Sci.* 2018. Vol. 18. ES200.
8. Модельное исследование ветрового вклада в межгодовую изменчивость расхода Антарктического циркумполярного течения южнее Австралии // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47. № 2. С. 172–182.
9. Водообмен Полярных морей с Атлантическим и Северным Ледовитым океанами на основе наблюдений Argo // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47. № 2. С. 183–197.
10. Модельное исследование межгодовой изменчивости водообмена Полярных морей с Атлантическим и Северным Ледовитым океанами // *Океанологические исследования*. 2020. Т. 48. № 2. С. 34–50.

11. Обнаружение вод Красного моря и Персидского залива в северо-западной части Индийского океана по наблюдениям поплавков Арго // Океанологические исследования. 2021 Т. 49. № 4. С. 24–62.
12. Сезонная изменчивость водообмена между Тихим и Индийским океанами по данным Арго и численного моделирования // Океанологические исследования. 2022. Т. 50. № 4. С. 30–49.

В представленной авторами работе данные по адвективным потокам тепла через границы области Полярных морей были получены и опубликованы ранее, в 2019 г. в статье [9].

В настоящей же работе к исследованию были дополнительно привлечены данные потоков тепла из атмосферного реанализа, ветер из которого использовался в модельных расчётах АМИГО. Выполненный несложный анализ как осреднённых за 10 лет данных, так и данных, полученных в «среднеклиматическом» для 10 лет расчёте, показал их хорошее совпадение со средним потоком тепла из океана в атмосферу, полученном в независимом атмосферном реанализе. Этот результат, как мы считаем, является дополнительной валидацией и объективным подтверждением качества массивов АМИГО. Авторам представляется важным, что хорошее совпадение среднеклиматических, и осреднённых за 10 лет модельных балансов тепла с атмосферными, которые в модельных расчётах никак не участвовали, (т. е. совершенно независимо и объективно) указывает на качество модельного продукта.

Уверенность авторов в адекватности расчётов базируется на 10-летней истории анализа результатов АМИГО для различных районов Мирового океана.

Поступившее в повторном отзыве предложение уважаемого Рецензента «провести верификацию всех полученных в статье результатов по вполне доступным данным современных океанских реанализов» является интересным, но крайне трудно реализуемым в рамках одной статьи, которая по своим размерам уже превышает редакционные требования.

Действительно, ведь кроме океанских реанализов придётся дополнительно привлекать и используемые в них атмосферные продукты. Для выполнения такой работы потребуется отдельная масштабная публикация, т. к. серьёзной проблемой существующих сегодня реанализов является их несовпадение друг с другом. Это также подтверждается вышедшими недавно публикациями:

Sukhonos P., Gusev A., Diansky N., Investigation of North Atlantic Salinity Long-Term Trends Based on Historical Datasets // J. Mar. Sci. Eng. 2024, 12(8), 1404; <https://doi.org/10.3390/jmse12081404>

Сухонос П.А., Дианский Н.А. Тенденции изменения солёности вод Северной Атлантики по данным океанских реанализов в 1980-2011 гг. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2024. Т.60).

В этих работах было выполнено детальное сравнение результатов восьми наиболее известных реанализов (ESTOS, GECCO3, GFDL, GODAS, ORA-S3, ORAS4, ORAS5, SODA3) и трёх массивов объективного анализа океана (EN4, IAP, ISHII) на предмет как наличия долгопериодных тенденций изменения солёности вод ключевых районов Северной Атлантики, так и их знака. Авторы этих работ отмечают, что оценки долгопериодных тенденций изменения солёности Северной Атлантики, полученные по разным массивам данных, противоречивы, что приводит к неоднозначности в структуре и величине долгопериодного изменения солёности океана. Одной из причин таких расхождений авторы видят в использовании в реанализах разных моделей, методик,

пространственного разрешения и стратегий исправления ошибок, что и могло приводить к существенному расхождению в качестве данных.

Авторы благодарны уважаемому Рецензенту за разумные советы и пожелания, а также предложения, которые, вероятно, могли бы быть реализованы совместно и/или учтены в дальнейшей работе.

**С уважением, авторский коллектив. 23.12.2024.**

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

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

Здравствуйте!

В целом, рецензент удовлетворен ответами авторов на повторную рецензию и не возражает против публикации работы в том виде, как она подготовлена с учетом сделанных рекомендаций.

**Подпись. Рецензент № 2. 24.10.2024.**