РЕЦЕНЗИЯ № 2

на статью **«ПРОБЛЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ»**
авторского коллектива: **А. Е. Исаченко, П. А. Васильев, В. А. Гриценко**

Статья «Проблемы верификации численного моделирования морских акваторий» посвящена верификации регионального океанографического реанализа Балтийского моря по инструментальным измерениям, которые выполнялись на станции, расположенной с юго-восточной части Балтийского моря. В статье приводятся описание методики верификации, статистические оценки верификации, результаты верификации. Актуальность работы хорошо изложена во введении статьи.

Основные замечания:

1) Название статьи не соответствует содержанию. По сути, статья посвящена сравнению инструментальных измерений и результатов океанографического реанализа в конкретной точке в конкретном периоде времени. Проблемы верификации затрагиваются лишь общим планом без детального разбора всех имеющихся методов и практик. Авторы ссылаются на статью Hjelmervik and Hjelmervik (2012), но при этом они игнорируют, к примеру, специальный выпуск № 49 журнала Climate Dynamics, который был полностью посвящен имеющимся практикам верификации океанографических реанализов (Balmaseda, M.A. Editorial for Ocean Reanalysis Intercomparison Special Issue. Clim Dyn 49, 707–708 (2017). https://doi.org/10.1007/s00382-017-3813-8).

2) Океанографический реанализ NemoNordic оценивается по измерениям, сделанным на одной станции в течение недели. Этого недостаточно для адекватной оценки реанализа, о чем кстати прямо говорят авторы.

3) Безразмерные оценки, которые предлагаются в статье, широко используются на практике (Предлагаю авторам в качестве примера для ознакомления следующую работу: Wang H, Ren K, Lina M, Yu C, Chen W and Zhang W (2022) Long-term mean circulation in the Japan Sea as reproduced by multiple eddy-resolving ocean circulation models. Front. Mar. Sci. 9:1050028. doi: 10.3389/fmars.2022.1050028)

Следовательно, использование безразмерных оценок не представляет научную новизну.

4) Нет необходимости в использовании трех статистических оценок – все три показывают низкие значения для периода 18–21 октября и высокое значение для периода 22–25 октября.

Редакционные замечания:

Строка 203: Что подразумевается под фразой: «Выбор конкретного массива реанализа был обусловлен задачей инициализации начального состояния и расчетных условий на свободных границах разрабатываемой региональной модели динамики вод юго-восточной части Балтики у берегов Калининградской области». Проясните смысл этой фразы.

Строка 372: NemoNordic – это не глобальный океанографические реанализ, а региональный.

Резюме: статью необходимо существенно доработать для того, чтобы она представляла научный интерес.

Рекомендации:

1) Поменять название статьи, если это возможно, чтобы она точнее соответствовала содержанию работы.

2) Авторы акцентируют внимание на расхождение между измерениями и результатами моделирования в период 21–22 октября, но не объясняют причины этих расхождений. Поскольку NemoNordic – это океанографический реанализ, я бы рекомендовал тщательно проверить используемые в ассимиляции океанографические данные и используемые для граничных условий метеорологические данные.

Подпись. Рецензент № 2. 25.05.2026.

От редакции: рецензия была направлена авторскому коллективу.

Ответ рецензенту № 2 на рецензию от 25.05.2026 на статью авторского коллектива: А. Е. Исаченко, П. А. Васильев, В. А. Гриценко «ПРОБЛЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ»

Уважаемый рецензент! Благодарим Вас за важные и содержательные замечания к тексту статьи. В соответствии с Вашими пожеланиями, мы выполнили существенную переработку текста статьи. Ответы на замечания приведены ниже. Исправления в тексте выделены цветом.

Рецензент: *Название статьи не соответствует содержанию. По сути, статья посвящена сравнению инструментальных измерений и результатов океанографического реанализа в конкретной точке в конкретном периоде времени. Проблемы верификации затрагиваются лишь общим планом без детального разбора всех имеющихся методов и практик. Авторы ссылаются на статью Hjelmervik and Hjelmervik (2012), но при этом они игнорируют, к примеру, специальный выпуск № 49 журнала Climate Dynamics, который был полностью посвящен имеющимся практикам верификации океанографических реанализов (Balmaseda, M.A. Editorial for Ocean Reanalysis Intercomparison Special Issue. Clim Dyn 49, 707–708 (2017).*

Ответ. Мы согласимся, что исходный вариант текста не полностью соответствует старому названию статьи, из-за неправильно расставленных акцентов по всему тексту работы и, особенно, выводов. Переработанный вариант текста, как нам кажется, теперь соответствует названию.

Спасибо за информацию о специальном выпуске журнала, который прошел мимо нашего внимания из-за того, что решаемые нами задачи лежат в других пространственно-временных диапазонах изменений параметров природной системы. Мы изучили наиболее близко относящиеся к нам работы и некоторые другие работы из их списка цитирований (Eilola et al., 2011; Balmaseda et al., 2015). Соответствующие фрагменты текста по «близости», нормировке и прочему вставлены в текст (строки 46–48, 55–57, 105–108, 110–114, 161–168, 186–189, 344–349, 365–368, 376–378, 405–424).

Вместе с тем, отметим, что все предложенные подходы и метрики, по-прежнему, носят формально статистический подход. Поэтому наша опора на непрерывность изменений термодинамических характеристик морской акватории относительно нова.

Рецензент: *Океанографический реанализ NemoNordic оценивается по измерениям, сделанным на одной станции в течение недели. Этого недостаточно для адекватной оценки реанализа, о чем, кстати, прямо говорят авторы.*

Ответ. Благодарим за замечание! В текущей редакции статьи целью нашей работы является не проверка адекватности модели реанализа и реальной термодинамической изменчивости ЮВ Балтики, а иллюстрация особенностей работы трех предложенных метрик, выведенных на основе предположения о непрерывности физических процессов в природной системе и использования аппарата функционального анализа. Строки 55–57, 104–108, 421–424.

«В фокусе внимания данной работы – проблемы выбора критериев «близости» при верификации численного моделирования морских акваторий, способных выявить воздействие «подсеточных» процессов на величину ошибок».

«Цель данной работы заключается в изложении одного из подходов сравнения результатов модельных расчетов с данными натурных наблюдений, т. е. одного из этапов верификации результатов численного моделирования, на основе предположения о непрерывности изменения параметров природной системы (морской акватории) и методов функционального анализа».

«Новизна предлагаемого подхода построения алгоритмов сравнения одномерных временных рядов состоит в переходе к сравнению близости непрерывных образов изучаемых процессов и выборе в качестве масштабов нормировок «естественных» параметров их изменчивости».

Рецензент: *Безразмерные оценки, которые предлагаются в статье, широко используются на практике (Предлагаю авторам в качестве примера для ознакомления следующую работу: Wang H, Ren K, Lina M, Yu C, Chen W and Zhang W (2022) Long-term mean circulation in the Japan Sea as reproduced by multiple eddy-resolving ocean circulation models. Front. Mar. Sci. 9:1050028. doi:10.3389/fmars.2022.1050028). Следовательно, использование безразмерных оценок не представляет научную новизну.*

Ответ. Мы понимаем, что использование безразмерных оценок, особенно в геофизической гидродинамике, не является новым. Мы познакомились с цитируемой Вами работой. Констатируем сходство усилий в поиске критериев «близости» временных рядов для конкретных природных систем. Поэтому предложенные нами метрики не являются принципиально новыми, однако для практики верифицирования результатов моделирования прибрежных акваторий они являются новыми. Строки 405–421.

«Многообразие природы экспериментальных данных и соответствующих задач их анализа привело к появлению множества критериев «близости» различных массивов данных. Многомасштабность движения вод морей и океанов и невозможность выбора достаточно подробных расчетных сеток, привели к появлению алгоритмов (процедур) учета «подсеточных» движений. Особую сложность решение задач параметризации приобретает для прибрежных морских акваторий со значительной изменчивостью их физико-географических характеристик (геоморфология, форсинг). Поэтому вполне актуальной является задача анализа природы несоответствия модельных расчетов и натурных наблюдения, возникающая при моделировании на различных масштабах изменчивости природной системы.

Переход к безразмерным критериям подобия (близости) широко распространен в геофизической гидродинамике и других науках. Предлагаемый в работе подход по смыслу близок к использованному в работе (Eilola et al., 2011) конструированию критериев «близости» показателей различных моделей эвтрофикации Балтийского моря. Однако,

наш подход позволяет явно учитывать как величину шага по времени при модельных расчетах, так и период осреднения эталонного ряда при интегрировании невязок расчетных и измеренных значений параметров морской среды».

Рецензент: *Нет необходимости в использовании трех статистических оценок – все три показывают низкие значения для периода 18–21 октября и высокое значение для периода 22–25 октября.*

Ответ. Мы согласимся с тем, что оценки показывают большие значения в периоды больших градиентных изменений температуры воды. Однако, они также позволяют оценивать отклики расчетных показателей на внутрисуточную изменчивость соответствующего параметра природной системы. Ненормированные метрики и масштабы нормировок имеют разную физическую размерность и тем самым могут описывать различные аспекты изменчивости природной системы. Текст дополнен в строках 161–168, 344–349, 370–373.

«Предложенные критерии (7)–(9) по характеру учета имеющихся невязок отличаются друг от друга. Аналог среднеквадратичных ошибок (критерий 7) за счет возведения в квадрат величин ошибок перед их суммированием усиливает значимости больших ошибок и уменьшает – малых. Второй критерий (8) считает большие и малые величины невязок «равнозначными». Наконец, третий критерий (9) работает только с оценкой разности амплитуд ошибок. Таким образом, совместное использование (7)–(9) позволяет оценить несовпадение временных рядов с трех различных точек зрения».

«Если соотнести измеренные и расчитанные значения температуры морской воды к конкретному её объёму, то полученные при помощи критериев (7)–(9) ошибки позволят получить количественные оценки теплосодержания этих объемов, что важно при решении задач теплообмена атмосферы и океана. Для прибрежных вод Юго-Восточной Балтики, где плотность вод определяется температурой, количественные оценки будут важны при изучении плотностной устойчивости вод».

«Существенная немонотонность изменения температуры воды и воздуха и скорости ветра за этот период привели к снижению точности расчетов модели реанализа. Для периода квази-монотонного понижения температуры с 18 по 21 октября наблюдается согласованность изменения контактных измерений на D6 и реанализа (см. рисунок 3)».

Предложенные Вами редакционные замечания исправлены: строки 220–223.

«Выбор конкретного массива реанализа мотивирован задачами определения начального состояния полей и условий на свободных границах модельного пространства, которые возникли при построении региональной модели динамики вод юго-восточной части Балтики у берегов Калининградской области».

Выражаем искреннюю благодарность рецензенту за содержательную рецензию, которая позволила действительно оттенить полученные нами результаты и представить их в улучшенном виде.

С уважением, авторский коллектив. 09.06.2026.

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

Подтверждение Рецензента № 2 на публикацию:

Уважаемая редакция.

Я внимательно ознакомился ответами авторов на мои замечания и исправления. Предлагаю данную статью опубликовать в журнале «Океанологические исследования».

Подпись. Рецензент № 2. 29.06.2026.