

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Кубрякова Арсения Александровича
«Изменчивость динамики вод Черного моря на сезонных и межгодовых масштабах и её
влияние на морскую экосистему»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 1.6.17 – океанология

Диссертационная работа Кубрякова Арсения Александровича посвящена анализу механизмов изменчивости динамики вод Черного моря на различных временных масштабах, и её влиянию на экосистему и термохалинную структуру бассейна. На основе комплексного использования различных методов автору удалось объяснить физические причины усиления вихревой динамики бассейна в тёплый период года и установить связь этого процесса с крупномасштабной циркуляцией и ветровым воздействием.

Большое внимание уделяется рассмотрению различных аспектов взаимодействия физико-биологических процессов в океане. Полученные результаты демонстрируют многообразие динамических процессов, оказывающих существенное влияние на особенности функционирования экосистемы Черного моря, имеют фундаментальный характер и актуальны для решения физических и биологических задач океанологии.

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна полученных результатов, теоретическая и практическая значимость результатов, приведен список публикаций по теме диссертации и личный вклад автора.

Раздел 1 посвящен исследованию физических причин сезонной и межгодовой изменчивости динамики вод Черного моря. На основе комплексного анализа полей уровня и течений по альтиметрическим измерениям демонстрируется, что причиной интенсификации циклонической циркуляции Черного моря на масштабах от синоптических до межгодовых является рост циклонической завихренности ветра. Этот процесс вызывает отток вод и даунвеллинг у берега, рост градиентов уровня над континентальным склоном и интенсификацию циклонических течений. Он также приводит к снижению водообмена на периферии бассейна. В то же время ослабление экмановской накачки приводит к существенной перестройке структуры поля течений и появлению большего количества синоптических антициклонов. Автор показывает, что генерация антициклонических вихрей связана с релаксацией поля уровня при ослаблении прибрежного даунвеллинга. Для подтверждения этой гипотезы используется комплексный анализ гидрологических измерений, данных численного моделирования, а также ряд разработанных автором методов двумерной и трёхмерной идентификации вихрей, которые позволили получить

подробную информацию о характеристиках и эволюции вихрей Черного моря. Хорошим физическим результатом данной работы является описание механизма интенсификации антициклонических вихрей, связанного с вовлечением шельфовых опресненных вод в их ядро. Автором показано, что горизонтальная адвекция может выступать важным источником доступной потенциальной энергии вихрей. При этом такой процесс является самоусиливающимся – он вызывает рост горизонтальных градиентов плотности и интенсификацию вихря, который еще более эффективно захватывает шельфовые воды. При ослаблении экмановской накачки происходит отток опресненных вод в центр моря, который приводит к сезонному усилению антициклонических вихрей в теплый период. Представленные автором в этом разделе гипотезы подтверждены разносторонним анализом данных и представляют фундаментальный интерес, поскольку могут объяснять схожие процессы, наблюдающиеся в других регионах Мирового океана.

Особенно ценны результаты по трехмерной структуре и динамике вихрей.

Во втором разделе автор демонстрирует влияние изменения структуры течений Черного моря и связанной с ними горизонтальной адвекции на характеристики морской экосистемы. Динамика вод, в частности, влияет на распространение речных плумов, которые несут большое количество биогенных элементов в море. Для описания этого процесса используется оригинальная разработанная автором лагранжевая модель, которая учитывает геострофические и дрейфовые течения и базируется на спутниковых измерениях. Использование такой модели позволило выделить несколько основных типов распространения вод Дуная и в деталях изучить влияние вихревых, крупномасштабных и дрейфовых течений на их межгодовую изменчивость. Интересным результатом является выявленная важная роль дрейфовых течений в переносе речных вод через бровку шельфа, что необходимо для их контакта с вихревыми образованиями. Автор показывает, что динамика вод, изменчивость которой описана в Разделе 1, во-многом определяет структуру поля концентрации хлорофилла А в западной части Черного моря, которая значительно связана с распространением Дунайских вод. Этот результат далее масштабируется на все Черное море. На основе корреляционного анализа показано, что ослабление вихревой динамики и связанного с ней кросс-шельфового переноса приводит к существенному уменьшению концентрации хлорофилла А над континентальным склоном Черного моря, т.е. в зоне соприкосновения вод шельфа и открытого моря. Полученный результат логичен и может быть важен для понимания причин изменчивости экосистем других окраинных морей.

В третьем разделе на основе контактных измерений автор исследует влияние динамики на термохалинную структуру Черного моря. Получено три важных результата. В

подразделе 3.1 на основе анализа длительных рядов гидрологических измерений автор демонстрирует существование процессов резкого потепления и осолонения промежуточных слоев Черного моря. Подробный анализ этих событий показывает, что они усиливаются в осенний период и связаны с ростом вертикального сдвига течений, связанного с крупномасштабной циркуляцией и ветровым воздействием. Такие события существенным образом влияют на термохалинную структуру бассейна и могут являться одной из причин наблюдающегося осолонения Черного моря. Кроме этого, представленный результат демонстрирует один из важных механизмов распространения тепла в нижние слои океана, что важно для понимания и прогнозирования последствий глобального потепления. В подразделе 3.2. проведен детальный анализ термохалинной структуры вихрей Черного моря. Приводятся количественные оценки вертикального распределения аномалии температуры и солености в циклонах и антициклонах Черного моря, их связь с интенсивностью вихрей. Предложен ряд объяснений наблюдающихся изменений стратификации в вихрях Черного моря, сезонной изменчивости структуры вихрей. Подробно рассмотрена эволюция вихрей и предложен оригинальный метод оценки вертикальной скорости в них. В целом данный подраздел представляет собой подробное описание роли вихрей в изменении структуры вод Черного моря и, таким образом, расширяет представления, полученные в разделе 1 на всю толщу вод. В подразделе 3.3 рассматривается изменчивость толщины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) за длительный период. Автор показывает, что синоптическая и крупномасштабная динамика вод оказывает значительное влияние на изменчивость ВКС, что связывается, в первую очередь, с изменением вертикального положения пикноклина, приводящим к усилению/ослаблению диссипации турбулентности. В результате в областях даунвеллинга значения толщины ВКС могут достигать 150 м, что в три раза превышает климатические в Черном море.

В четвертом разделе решено несколько задач, которые демонстрируют важную роль вертикальной адвекции и перемешивания в изменчивости различных характеристик экосистемы Черного моря. К таким факторам относится изменчивость конвективного и ветрового перемешивания, смещение слоя нитроклина к поверхности в зонах циклонической циркуляции, изменения стратификации вод и толщины ВКС в районах ап/даунвеллинга. В работе уделяется особое внимание еще одному фактору – условиям освещенности, которые оказывают важную роль в формировании структуры поля концентрации хлорофилла А. Такой совместный анализ проводится впервые и стал возможен благодаря использованию современного массива всплывающих буев Био-Арго. Предложенный подход демонстрирует, что объяснение тех или иных процессов,

наблюдающиеся в морских экосистемах, возможно только на основе совместного анализа динамических факторов и данных об освещенности, что отражено в положении 5 работы «Характеристики вертикального обмена модулируют изменения условий освещённости в Черном море, которые оказывают определяющее влияние на вертикальное распределение концентрации хлорофилла А в толще вод».

В заключении приводится общий итог работы и основные выводы.

Замечания

- 1) В разделе 1 автор уделяет большое внимание механизмам сезонной генерации антициклонов. Это, по-видимому связано, с тем, что антициклонические образования имеют более важную роль в динамике Черного моря в теплый период. В то же время, вопрос генерации циклонических вихрей обсужден лишь кратко, и детальное описание их механизмов отсутствует.
- 2) Автор утверждает, что одной из возможных причин образования интенсивных квазистационарных антициклонов, являются близость к источникам положительной плавучести. В то же время, существуют другие причины их стационарирования, например, особенности топографии. Какая из причин играет наиболее важную роль?
- 3) В разделе 2 автор использует сумму геострофической и дрейфовой скорости для оценки интенсивности поверхностных течений. В то же время, существуют другие факторы, например, приливные или инерционные течения, которые также влияют на перенос трассеров.

Редакционные замечания

1. В работе присутствует некоторое количество опечаток, грамматических и синтаксических ошибок, часто встречается несогласованность падежей. Например, в выводах:
вызывают резкие изменения условия освещенности – показателя вертикального ослабления света и глубину фотической зоны. - , правильно, **глубины**
К таким процессам относятся - пропущено двоеточие
изменение толщины ВКС в зимний период, - **зимний**
под действием конвективного и турбулентного перемешивания - **конвективное перемешивание также является турбулентным**
Такие ошибки встречаются во всех разделах, и требуют более внимательного подхода к оформлению текста
2. Шрифт подписей к рисунков в ряде случаев слишком мал и сложен для прочтения, например, рисунки 1.46, 1.51, 1.54, 1.62, 1.70, 3.11a, 3.28, 4.6, 4.7
3. Встречаются рисунки с подписями на английском языке, например, рис. 4.2, 2.6, а также в разделе 4.5 рисунки 4.30-4.36,
4. В списке литературы встречаются повторы, например,
420. Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Zatsepin A. G. et al. Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem // Journal of Marine Systems. – 2016. – Vol. 163. – P. 80-94. – <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.06.006>.
421. Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Zatsepin A. G. et al. Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem // Journal of Marine Systems. – 2016. – Vol. 163. – P. 80-94. – <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.06.006>.

Однако высказанные замечания не снижают ценность полученных результатов и ясности изложения.

Заключительная оценка.

Диссертационная работа А.А. Кубрякова является законченной работой, в которой получены новые результаты, имеющие важное научное значение для исследования динамических процессов и их воздействия на морские экосистемы. На основании выполненных автором исследований разработаны обоснованные теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. В работе получен ряд новых результатов о динамике Черного моря и взаимодействии физико-биологических процессов в океане. Достоверность и обоснованность результатов подтверждается всесторонним анализом большого массива использованных данных спутниковых и контактных измерений, численного моделирования. Высокое качество работы и полученных новых выводов подтверждается, в том числе, публикацией её результатов в ряде международных журналов мирового уровня. Диссертация имеет значительные элементы новизны и практическую значимость. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание.

Считаю, что диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор, Кубряков Арсений Александрович заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.17 – океанология, отрасль наук – физико-математические науки.

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник лаборатории геофизической гидродинамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанский
океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
доктор физико-математических наук, доцент
Тел. 231-28-60; email - kvkoshel@poi.dvo.ru
Россия, Приморский Край
690041, г. Владивосток, ул.Балтийская, 43,



Кошель Константин Валентинович

Подпись Кошеля Константина Валентиновича за печатью

Ученый секретарь ТОИ ДВО РАН

к.г.н. Шлык Наталья Васильевна

