

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

Динамика океана играет существенную, а часто и определяющую роль в изменчивости структуры океана и функционировании морских экосистем. В диссертационной работе Кубрякова Арсения Александровича выполнено крупное исследование, посвященное анализу различных механизмов формирования крупномасштабной и вихревой динамики Черного моря, а также её воздействию на биологические характеристики океана. Работа отличается своей междисциплинарной направленностью и охватывает различные аспекты океанологии. На основе разработанных методов получены новые фундаментальные результаты о вихревой динамике Черного моря, в частности, предложено оригинальное авторское объяснение её сезонной изменчивости. Представлены новые данные о взаимосвязи характеристик вертикального обмена и стратификации Черного моря с его крупномасштабной и вихревой динамикой. Описан целый ряд механизмов влияния различных динамических факторов на изменчивость морских экосистем и его первого трофического звена - фитопланктона. Полученные результаты, несомненно, актуальны, так как представляют практический интерес для понимания причин современных изменений гидрологической структуры и экосистемы внутренних морей в условиях меняющегося климата, а также для развития и валидации численных физических и биохимических моделей, необходимых для контроля состояния морской среды.

Во введении обоснована актуальность проблемы, представлены цели и задачи исследования, научная новизна полученных результатов и положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость результатов, приведен список публикаций по теме диссертации.

В первом разделе на основе данных спутниковой альтиметрии и численного моделирования проведено подробное исследование изменчивости крупномасштабной и мезомасштабной динамики Черного моря. Автор демонстрирует существенные изменения интенсивности и структуры поля течений Черного моря и доказывает, что колебания средней кинетической энергии движений его верхнего слоя на масштабах от синоптических до многолетних определяется ветровым воздействием – экмановской накачкой. Также показано, что изменения поля уровня, связанные с экмановской дивергенцией, могут значительно влиять на водообмен с Азовским морем. Далее представлены ряд актуальных разработанных методов автоматической идентификации вихрей, которые были впервые применены для Черного моря. Эти методы позволили получить большой объем новой информации о характеристиках вихрей Черного моря. Важно, что, впервые были получены данные о межгодовой и сезонной изменчивости вихревой динамики. Результаты работы позволили достоверно показать наличие обратной связи между интенсификацией крупномасштабных течений и ослаблением антициклонов Черного моря. Далее, автор использует ряд примеров и оригинальные статистические методы анализа для того, чтобы сформулировать гипотезу о механизмах наблюдаемой изменчивости вихревой динамики. Суть её состоит в том, что опресненные воды шельфа при ослаблении экмановской накачки двигаются обратно к центру моря. Вовлечение этих вод в вихревое движение приводит к росту горизонтальных градиентов плотности и усилению антициклонических вихрей. Предложенная гипотеза оригинальна и достаточно обоснована, а также подтверждена рядом численных расчетов, которые дают дополнительную информацию об особенностях такого процесса. В целом можно заключить, что в этом разделе автору удалось решить важную поставленную задачу – дать обоснованное объяснение причин сезонной и межгодовой изменчивости крупномасштабной и вихревой динамики Черного моря.

Во втором разделе полученные результаты об изменчивости структуры динамики Черного моря применяются для исследования их влияния на горизонтальный обмен, который

имеет особо важное значение для экосистемы бассейна. Это связано с тем, что в шельфовые районы Черного моря впадает большое количество речных вод с высокими концентрациями биогенных элементов. Для изучения этого фактора автор предлагает использовать оригинальную разработанную им лагранжеву модель, которая основана на спутниковых измерениях. Такой метод позволил исследовать в деталях особенности распространения дунайских вод за длительный период времени, а также изучить влияние вихревых, крупномасштабных и дрейфовых течений на этот процесс. Результаты демонстрируют существенную роль динамических факторов в изменчивости концентрации хлорофилла-А, связанной с движением плюма Дуная. Далее, на основе сопоставления альтиметрических наблюдений и данных сканеров цвета авторы показывают, что усиление завихренности и циклонических течений приводит к существенному снижению концентрации хлорофилла-А в районе континентального шельфа. Это связано с увеличением мощности динамического барьера между шельфом и глубоководной частью моря и снижению количества синоптических антициклонов. Представленные в этом разделе результаты демонстрируют важное влияние описанных в разделе 1 изменений структуры поля течений и связанного с ним горизонтального переноса биогенных элементов на изменчивость характеристик экосистемы Черного моря.

В третьем разделе представлены результаты анализа влияния крупномасштабной и вихревой динамики Черного моря на термохалинную структуру его вод. Описан важный механизм роста солености бассейна, связанный с интенсификацией вовлечения глубинных соленых вод в его верхние слои. Автор показывает, что такой процесс связан с усилением вертикального обмена под действием сдвиговой турбулентности и одновременным потеплением верхнего слоя. Интересно, что такой процесс имеет сезонные особенности и наблюдается осенью, что связывается с усилением штормовой активности и завихренности ветра. Представленные результаты демонстрируют причины проникновения сигнала потепления из атмосферы в океан и показывают, что этот процесс будет сопровождаться

осолонением верхнего слоя. В подразделе 3.2 приводится подробное исследование влияния синоптических вихрей на термохалинную структуру вод Черного моря. На основе полученных методов исследовано вертикальное распределение аномалий температуры и солености в циклонах и антициклонах Черного моря, их связь с интенсивностью вихрей, сезонная изменчивость. Определена связь между интенсивностью вихря, положением пикноклина в нем и средними аномалиями солености, температуры и частоты Вьясяля-Брента. На основе полученных параметризаций и данных измерений представлены карты переноса вихрями соли и тепла, а также предложена гипотеза об их влиянии на асимметрию гидрологических полей Черного моря. В этом же разделе также предложен оригинальный метод определения вертикальной скорости в вихрях, основанный на изменении положения изопикнических поверхностей. В подразделе 3.3 на основе длительного ряда контактных измерений исследуется пространственно-временная изменчивость важной характеристики перемешивания – вертикального квазиоднородного слоя (ВКС). Подтверждены и расширены оценки Титова (Титов, 2004) о существенном влиянии крупномасштабной и вихревой динамики на формирование ВКС в зимний период.

В четвертом разделе приведено детальное исследование вертикальной структуры гидрооптических полей Черного моря. На основе анализа многолетних измерений Био-Арго получены новые данные об особенностях короткопериодной, сезонной и межгодовой изменчивости этих полей. Представлен ряд механизмов влияния динамических процессов на характеристики экосистемы бассейна, цветение кокколитофорид, формирование подповерхностного максимума концентрации хлорофилла-А. Даны оценки взаимосвязи условий освещенности и особенностей вертикального обмена, исследовано их совместное влияние на протекание биологических процессов в Черном море. Этот раздел демонстрирует многообразие влияния физических факторов, в частности, динамических процессов, на изменчивость характеристик морских экосистем. В Заключении представлены основные выводы к работе, описаны перспективы дальнейшей разработки темы.

В подписях к рисункам 3.12 и 3.13 не указано, на основании каких данных построена временная диаграмма: осредненных по пространству профилей, данных наблюдений в фиксированной точке или др.?

Многие рисунки, иллюстрирующие вертикальные распределения характеристик, приведены в изопикнических координатах. Для удобства восприятия, было бы целесообразно, дублировать также шкалу глубин на оси ординат.

Стр. 264, абзац 1: здесь и в целом ряде других случаев ссылка на рисунок в тексте, например 3.15-в, не соответствует номеру и содержанию рисунка.

Стр. 281, абзац 3: «Различный знак вертикальных скоростей в АВ и ЦВ, связанные с ними опускание/подъем пикноклина и сжатие/растяжение изопикнических поверхностей, может объяснить тот факт, что размеры АВ, как правило, больше, чем размеры ЦВ».

Утверждение весьма расплывчатое и требует конкретики по каждому из приведенных пунктов. Также не ясно, насколько оно согласуется с известным фактом о связи размеров вихрей с бароклинным радиусом деформации?

Стр. 419, Основные результаты 2 и 3, в которых идет речь о роли шельфовых вод в усилении антициклонической завихренности, в значительной степени повторяют друг друга, включая некоторые дословные фрагменты фраз, например «...приводит к росту доступной потенциальной энергии...». Было бы целесообразно объединить эти два результата в один обобщенный результат, как это сделано в Положениях, выносимых на защиту.

Заключительная оценка.

Диссертационная работа Кубрякова А.А. вносит существенный вклад в изучение взаимосвязей атмосферных, гидрофизических и гидробиологических процессов в морской среде. Она представляет собой законченное исследование, в котором получены ряд новых результатов об изменчивости динамики Черного моря и характеристик морских экосистем. Представленные результаты кратко сформулированы в 5-ти положениях, обоснование

В качестве незначительных замечаний по диссертации можно отметить следующие:

Не совсем понятен смысл включения в диссертационную работу подразделов 2.2.2 и 2.2.3, в которых моделируется растекание нефтяных загрязнений. Сама по себе это безусловно актуальная и важная тема, которой занимался соискатель в рамках своей научной деятельности. Однако, какое отношение содержание указанных разделов имеет к теме работы не очень ясно. Ни во введении, где сформулированы цель и задачи работы, ни в защищаемых положениях, ни в Заключение, нет никакого упоминания о результатах, описанных в указанных разделах. При этом объем этих разделов достаточно значителен. Если соискатель хотел проиллюстрировать эффективность разработанной им расчетной системы FOTS, которая в последующих подразделах главы 2 применяется для исследования распространения вод Дуная и его влияния на изменение концентрации хлорофилла (что полностью укладывается в тематику диссертации), то достаточно было привести основные уравнения системы FOTS, применительно к задачам данной работы, и привести ссылки на опубликованные работы, где проиллюстрировано применение этой системы для исследования динамики нефтяных загрязнений.

Стр. 248, рис. 3.6. Из подписи к рисунку не ясно, является ли приведенный график результатом осреднения данных со всех буев Арго в акватории Черного моря? Если это так, то необходимо указать число буев, а также уточнить, охватывают ли их траектории всю акваторию моря или приурочены к ОЧТ?

Стр. 250, абзац 3: «Однако из-за малых скоростей обмена такое влияние [аномалии температуры и солёности] регистрируется значительно позже – через несколько лет после суровых зим».

Сложно ожидать, что через 3 года аномалии температуры и солёности будут регистрироваться в районе их зарождения, а не сместятся достаточно далеко вследствие адвекции. Каким образом отождествлялись выявленные аномалии термохалинных характеристик с районом их возникновения?

которых дается в тексте диссертации. Достоверность полученных результатов обоснована большим статистическим объемом полученных данных, сопоставлением с материалами независимых источников информации для подтверждения выводов работы. Результаты диссертации неоднократно докладывались на различных всероссийских конференциях и опубликованы в большом количестве ведущих отечественных и зарубежных журналов. Автореферат в полной мере соответствует её содержанию.

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет всем требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ. Считаю, что 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

Доктор физико-математических наук,

главный научный сотрудник кафедры океанологии Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1,

тел.: +7(495)9392215

e-mail: тел. +7(495)9392215



Иванов Владимир Владимирович

«Подпись Иванова Владимира Владимировича заверяю»

Декан географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, академик РАН



Добролюбов Сергей Анатольевич