

**Отзыв официального оппонента
Репиной Ирины Анатольевны
на диссертационную работу Белокопытова Владимира Николаевича
«Климатические изменения гидрологического режима Черного моря»,
представленную на соискание ученой степени доктора географических наук
по специальности 25.00.28 – океанология**

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Белокопытова В.Н. посвящена одному из ключевых вопросов совместной динамики атмосферы и океана – оценке региональных климатических изменений и выявлению внешних факторов, эту изменчивость определяющих.

За последние десятилетия все чаще отмечаются драматические климатические изменения во многих регионах Земли. При этом важнейшую роль в процессах формирования погоды и климата играют океаны. В настоящее время очевидно, что без учета реальных характеристик взаимодействия атмосферы и океана невозможно успешное развитие как моделирования атмосферной циркуляции, так и создаваемых на его основе методов долгосрочного и сверхсрочного прогноза погоды и климата. Поэтому исследование взаимодействия гидросферы и атмосферы становится все более необходимым для понимания природы процессов, протекающих на нашей планете, и дальнейшего развития наук гидрологии, метеорологии и океанологии.

Актуальность работ также связана с большой важностью черноморского региона России как главной курортной зоны РФ, интенсивным развитием инфраструктуры, добычей полезных ископаемых на Черноморском шельфе и ростом плотности населения региона. Изучение внутренних морей и прибрежной зоны имеет большое значение в современном мире по нескольким причинам как практического, так и теоретического характера. С практической точки зрения эта часть Мирового океана является все более важным источником ископаемого сырья и местом массового проживания и сезонного отдыха людей.

С теоретической же точки зрения исследование внутренних морей интересно в плане изучения целого ряда гидродинамических процессов и явлений, среди которых можно выделить: элементы ветровой циркуляции, струйные течения, апвеллинг, сезонные колебания, речной сток. Кроме того, прибрежная зона является промежуточной и разделяет два ярко выраженных типа климата: континентальный и морской, и является важным звеном, обеспечивающим их взаимодействие.

Поэтому основной темой и основным объектом исследований представленной работы является Черное море. На примере огромного массива данных с использованием

детальной статистической обработки автор дает исчерпывающее описание практических всех его процессов, как региональных, так и глобальных на масштабе последних 100 лет.

Содержание диссертационного исследования

Диссертация состоит из введения, 5 разделов и заключения. Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, представляется новизна результатов, их научная и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту.

В Разделе 1 приведен детальный и интересный обзор исследований Черного моря от античных времен до наших дней. Дана подробнейшая библиография исследований.

В Разделе 2 описаны используемые в работе данные и методы. В разделе 2.1 представлена информационная основа работы. В разделе 2.2 рассматривается методика реанализа термохалинных полей Черного моря. В качестве математической основы использовались методы, основанные на учете статистической структуре данных, в частности оптимальная интерполяция и разложение на эмпирические ортогональные функции.

В Разделе 3 анализируются внешние гидрометеорологические факторы, обуславливающие сезонную и многолетнюю изменчивость термохалинной структуры вод, по различным источникам информации. Представлены оценки пространственно-временной изменчивости полей ветра в Азово-Черноморском бассейне. Анализируется климатология водного баланса бассейна. Рассматривается тепловой баланс моря. К региональным особенностям теплового баланса Черного моря относятся: низкие, в сравнении с районами Мирового океана на тех же широтах, значения потерь тепла на испарение; разделение бассейна на зону поступления тепла в южной части моря и зону отдачи тепла в северной части (в среднем за год); максимум суммарного турбулентного теплообмена в западной половине моря.

В Разделе 4 на основе новых климатических массивов рассматривается сезонный цикл гидрологической структуры вод Черного моря. Представлены основные характеристики сезонных изменений термической структуры вод. Подраздел 4.2 посвящен халинной структуре вод и ее сезонной изменчивости. В подразделе 4.3 рассматриваются T,S-характеристики вод Черного моря, сезонный T,S-цикл в поверхностных и подповерхностных слоях. Подраздел 4.4 посвящен сезонным изменениям плотности и устойчивости вод. В подразделе 4.5 рассматривается сезонная изменчивость общей циркуляции вод Черного моря и характеристик синоптических вихрей. Подтверждены

представления о том, что в течение сезонного цикла происходит пространственное перераспределение интенсивности звеньев общей схемы циркуляции моря.

В 5 Разделе исследуются климатические изменения гидрологического режима Черного моря и их связи с внешними факторами. Основным внешним фактором, регулирующим смену гидрологических фаз, является изменение преобладающего режима атмосферной циркуляции: зональной или меридиональной.

В заключение приводятся основные результаты работы и выводы.

Основные результаты и их новизна

В процессе работы получены следующие результаты:

1. Разработаны новые методы реконструкции термохалинных полей бассейна по ограниченному набору данных наблюдений, сочетающие в себе методы оптимальной интерполяции и методы разложения на ЭОФ-функции и на их основе получены новые массивы реанализа термохалинной структуры Черного моря за период регулярных наблюдений 1923–2015 гг. и массивы климатических полей для отдельных климатических периодов;
2. Установлено, что основной причиной региональных отличий климатических изменений в Черном море от других районов Мирового океана является внутриматериковое положение моря, определяющее изолированность, слабый внешний водообмен, двухслойность гидрологической структуры вод и повышенную реакцию бассейна на атмосферные воздействия;
3. Установлено, что характер многолетней изменчивости термохалинных полей в верхнем 100-метровом слое моря с хорошо выраженными междесятилетними колебаниями резко отличается от тенденций в слое постоянного пикноклина и глубинных слоях, где поступление мраморноморских вод вызывает слабое, но устойчивое нагревание и осолонение. Ведущую роль в низкочастотной изменчивости теплозапаса моря играет интенсивность зимней конвекции.
4. Установлено, что различия характеристик сезонной и межгодовой изменчивости температуры и солености в Черном море связаны с изменением общей интенсивности и перераспределением относительной роли составляющих теплового и водного баланса. Уровни интенсивности межгодовой и сезонной изменчивости баланса пресных вод сопоставимы между собой, в то время как интенсивность межгодовых колебаний внешнего теплового баланса значительно уступает сезонной изменчивости;

5. Установлено, что различные сочетания положительных и отрицательных аномалий тепло- и солезапаса моря, трактуемые как различные фазы гидрологического режима, формируются слабо согласованными между собой аномалиями теплового и пресного баланса бассейна.
6. Установлено, что слабая взаимосвязь межгодовых и междесятилетних колебаний составляющих теплового и пресного баланса обусловлена различной степенью зависимости гидрометеорологических характеристик Азово-Черноморского бассейна от характеристик атмосферной циркуляции.
7. Установлено, что основным внешним фактором, регулирующим смену гидрологических фаз в Черном море на междесятилетнем масштабе, является изменение преобладающего переноса воздушных масс.

Степень обоснованности научных положений и достоверность полученных результатов

Достоверность результатов обеспечивается использованием большого объема первичного экспериментального материала, сопоставлением различных источников информации, применением, наряду с новыми подходами, традиционных методов океанографического и гидрометеорологического анализа, использованием для оценок достоверности результатов методов проверки статистических гипотез.

Апробация результатов диссертации проведена на ведущих международных научных мероприятиях.

По теме диссертации опубликовано 96 научных работ. Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 40 работ в рецензируемых российских, украинских и международных научных изданиях.

Ценность для науки и практики результатов работы

Результаты работы могут быть использованы при планировании хозяйственной деятельности в Черноморском регионе, для валидации региональных и климатических моделей, при организации океанографических исследований. Разработанные методики статистического анализа данных могут быть применены для контроля качества оперативных гидрометеорологических данных.

Разработанная автором «Географическая информационная система «Гидрометеорология Черного и Азовского морей»» используется в Севастопольском отделении ГОИН и в Севастопольской гидрометеорологической обсерватории

Росгидромета. Информационная система обработки и визуализации междисциплинарной базы данных Средиземноморского бассейна реализована в международных проектах SESAME и PERSEUS. Компьютерная программа «Гидролог» для обработки рейсовых океанографических данных применяется во многих отечественных институтах океанологического профиля.

Результаты расчетов климатических океанографических полей Черного моря были представлены в 4 атласах, за один из которых автор вместе с коллективом исследователей был удостоен Государственной премии по науке и технике Украины за 2011 г.

Замечания по диссертационной работе в целом

К недостаткам работы можно отнести следующие:

1) При описании используемой базы данных по спутниковой альтиметрии не учитывается, что использование спутниковой альтиметрии в прибрежных зонах затруднено, так как формы телеметрических импульсов, принимаемых антенной альтиметра, отличаются от импульсов в открытом океане, что связано с влиянием отражения от суши. Ошибку можно уменьшить, используя алгоритмы регионального адаптивного ретрекинга. Не указано, применялись ли при создании базы данных подобные алгоритмы.

2) В формуле 3.2 для определения потока скрытого тепла пропущена собственно теплота испарения. Правильно: $LE = L_s C_E U_z (q_s - q_z)$. И C_E здесь правильнее определить как коэффициент влагообмена или число Дальтона. В отличие от коэффициента сопротивления, от скорости ветра он фактически не зависит, а от стратификации – только при небольших скоростях ветра. Стратификация приземного (приземного) слоя атмосферы определяется двумя параметрами: скоростью ветра и разницей температур вода-воздух, а не только разницей температур. Испарение во время штормов увеличивается прежде всего за счет образования пены и брызг, а не за счет собственно увеличения скорости ветра.

3) «Соотношение, аналогичное формуле (3.2)», как и формула (3.2.) в литературе называются балк-формулами или аэродинамическими формулами. Было бы полезно привести ссылки на балковые алгоритмы расчета составляющих теплового баланса, которые используются в реанализах.

4) При анализе данных о тепловом балансе нужно учитывать тот факт, что потоки явного и скрытого тепла восстанавливаются в реанализах не всегда адекватно. Используемые алгоритмы, в частности, алгоритм COARE, разработаны для открытого

океана, но плохо работают в прибрежной зоне. Поэтому из анализа выпал эффект прибрежных апвеллингов, повторяемость которых на черноморском побережье достаточно велика.

5) Не указано отобразился ли в климатологии Черного моря наиболее известный в мировой климатологии режимный сдвиг 1976-1978 гг?

6) Не очень понятно откуда взяты данные о динамике изменения состояния облачного покрова. Это данные метеостанций или анализ спутниковых данных (что реально возможно только с конца прошлого века)? Данные прибрежных наблюдений не могут давать информацию о состоянии облачного покрова над морем, а судовые наблюдения не носят регулярный характер. При визуальном наблюдении за облачным покровом с поверхности земли бывает сложно охарактеризовать облачность верхнего и среднего ярусов. Между тем спутниковые наблюдения отражают состояние лишь самого верхнего слоя облаков, при этом практически не обнаруживаются оптически тонкие облака. Поэтому использование архивов облачных данных для анализа их климатической изменчивости затруднено.

7) Стр. 66, абзац 2: «В то же время, это является определенным преимуществом в сравнении с реанализом, основанном на гидродинамических моделях, так как избавляет от необходимости учета внешних атмосферных воздействий.» В целом разделяя позицию автора, что отсутствие необходимости учета внешних атмосферных воздействий, формально облегчает задачу реанализа, не могу согласиться с утверждением, что это является сущностным преимуществом подхода, используемого автором. В основных результатах диссертации (4), (6) и (7) выделена значимость процессов взаимодействия океана и атмосферы и атмосферной циркуляции для формирования водного и теплового баланса моря его межгодовой изменчивости и смены гидрологических фаз. Таким образом, учет процессов взаимодействия с атмосферой представляется существенным условием, обеспечивающим большую достоверность результатов реанализа.

8) Стр. 161, последний абзац: «Пространственная картина интенсивности сезонного хода внешнего теплового баланса в основном определяется влиянием потерь тепла на испарение и, в меньшей степени, радиационным балансом. Как следствие, амплитуда сезонного цикла результирующего теплового баланса максимальна в открытых районах западной части моря.» Из текста диссертации не понятна причинно-следственная связь между первым и вторым предложениями в выделенном фрагменте.

9) Стр. 176. Предпоследний абзац: «В настоящее время накоплено достаточно натуральных данных, свидетельствующих о том, что ХПС образуется как в центрах

циклонических круговоротах, так и на континентальном склоне северо-западной части моря (Рисунки 4.15, 4.16).» Положение океанографических станций, на которых наблюдались различные процессы формирования ХПС, безусловно важны, но гораздо более информативным было бы привести распределения температуры/солености/плотности, на основании которых и были сделаны соответствующие выводы.

10) Подраздел 5.5. Из текста не очень понятны причины обобщенных состояний гидрологического режима ЧМ: «холодный – пресный» и «холодный соленый»? Свидетельствует ли само наличие таких фаз о возможности независимого друг от друга формирования теплового и солевого режима, в противоположность более логичному, в климатологическом смысле, сочетанию «холодный – пресный», «теплый – соленый»?

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключительная оценка

Диссертационная работа Белокопытова Владимира Николаевича является добротным научным исследованием, имеющим исключительно важное прикладное и фундаментальное значение. Это, пожалуй, самый детальный анализ климатологии основных гидрологических и атмосферных характеристик акватории Черного моря, охватывающий период последних ста лет. Безусловно, результаты работы будут широко востребованы в климатологии, метеорологии и гидрологических исследованиях. Следует отметить, что кроме несомненной практической значимости работа имеет и серьезное образовательное значение: Результаты работы использовались при чтении лекций на географическом факультете в Черноморском филиале МГУ им. М.В. Ломоносова, на кафедре физики Севастопольского государственного университета и в качестве методического пособия на кафедре океанологии МГУ им. М.В. Ломоносова. Полученные автором результаты имеют новый уровень, являются достоверными, а выводы и заключения обоснованными. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования.

Результаты диссертационной работы своевременно опубликованы в 96 научных работах, из которых 40 удовлетворяют требованиям ВАК при Минобрнауки России. Результаты диссертации неоднократно обсуждались на различных конференциях и получили одобрение ведущих специалистов. Представленная работа вносит значительный

вклад в понимание современной климатической изменчивости Черноморского региона и дает материал для прогноза ее дальнейшей динамики.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.28 – океанология, а ее автор Белокопытов Владимир Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора географических наук по этой специальности.

Официальный оппонент

Заведующая Лабораторией взаимодействия атмосферы и океана

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),

Доктор физико-математических наук

Тел. 8-495-951-85-49, e-mail: repina@ifaran.ru

119017, Москва, Пыжевский пер. 3

Репина Ирина Анатольевна

30.11.2017

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики атмосферы им. А.М. Обухова

Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)

Краснокутская Л. Д.