

«10» февраля 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения
«Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова»
на диссертационную работу

Лишаева Павла Николаевича

«ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ АЛЬТИМЕТРИИ И
ОГРАНИЧЕННЫХ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.6.17. Океанология

Диссертационная работа П.Н. Лишаева выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ), г. Севастополь. Лидирующей организации в создании вероятностных алгоритмов усвоения (ассимиляции) данных наблюдений в численных моделях динамики вод Черного моря. Работа посвящена разработке алгоритма восстановления трехмерных полей температуры и солености моря в условиях малого количества контактных измерений для дальнейшего исследования сезонной, межгодовой и синоптической изменчивости гидрофизических полей, полученных в результате численного моделирования с ассимиляцией данных о соответствующих полях, восстановленных на основе предложенных автором алгоритмов.

На отзыв ведущей организации были представлены диссертация (объемом 163 стр.) и автореферат (23 стр.). Текст диссертации состоит из введения, трех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 109 источников.

Во **Введении** обоснована актуальность диссертационной работы, степень разработанности темы, формулируются ее цели и задачи, приводится информация об используемых методах исследования, структуре и объеме работы, ее связь с выполняемыми научными программами и проектами, научная новизна полученных результатов и положения, выносимые на защиту. Описан личный вклад соискателя, теоретическая и практическая значимость исследования, степень достоверности и результаты апробации полученных результатов.

В **Разделе 1** приводятся результаты совместного анализа массивов данных контактных наблюдений и спутниковой альтиметрии. Доказано наличие в Черном море «базовой» термохалинной стратификации, соответствующее невозмущенное состояние вод. Показана однопараметрическая зависимость глубин залегания изохалин и изотерм от их невозмущенного состояния в слое глубин ниже 100 метров. Приведен разработанный алгоритм восстановления трехмерных полей (псевдоизмерений температуры и солености) в глубоководной части моря. Показаны результаты применения предложенного алгоритма для восстановления трехмерных термохалинны полей в глубоководной части моря за период 1993–2012 гг. Приведены оценки точности восстановленных полей псевдоизмерений. Выделены области с нарушением однопараметрической связи, приуроченные к районам субдукции вод, где существенны горизонтальные перемещения водных масс.

В **Разделе 2** показаны результаты реанализа гидрофизических полей Черного моря на основе численной модели МГИ с ассимиляцией в ней только профилей базовой стратификации. Показано, что ассимиляция невозмущенных среднегодовых и среднемесячных профилей температуры и

солёности позволяет достаточно точно воспроизвести межгодовую и сезонную изменчивости полей.

В **Разделе 3** описано разработанное соискателем развитие метода адаптивной статистики. Приведены новые оценки типичных дисперсий ошибок прогноза температуры и солёности по данным 20-летних массивов, полученных в численных расчетах без ассимиляции данных измерений. При этом величина источника для коррекции значений дисперсий ошибок прогноза подбиралась таким образом, чтобы она была сопоставима по порядку величины со слагаемым, описывающим горизонтальную адвекцию. Показано, что предложенная методика позволяет воспроизвести достаточно реалистичную изменчивость термохалинных характеристик в главном пикноклине. В том числе на синоптических масштабах, включая вихревые структуры. Кроме того, продемонстрирована необходимость ассимиляции спутниковой температуры поверхности моря для достоверного воспроизведения процессов в верхнем слое.

В **Заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы в соответствии с выводами, изложенными в разделах 1-3.

Актуальность работы обусловлена главным образом важностью проблемы восстановления трехмерных термохалинных полей Черного моря при условии пространственно-временной неравномерности распределения используемых для усвоения в численных моделях данных контактных измерений. Результаты работы могут быть использованы специалистами и подразделениями профильных организаций РФ. В частности, в ФГБУ «ГОИН».

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- установлено существование «базовой» стратификации температуры и солёности Черного моря;
- предложена оригинальная методология ее восстановления по данным спутниковой альтиметрии и контактных измерений;

- показана адиабатичность смещений изохалинных и изотермических поверхностей в слое 100–1000 м глубоководной области Черного моря;
- обоснована однопараметричность зависимости глубин залегания изохалин от уровня моря;
- предложен алгоритм восстановления трехмерных полей псевдоизмерений температуры и солености для Черного моря, основанный на совместном анализе ограниченных контактных измерений и данных альтиметрии;
- предложено развитие метода адаптивной статистики, заключающееся в учете адаптации дисперсий ошибок прогноза температуры и солености к циркуляции вод бассейна;
- обнаружен эффект распреснения вод Черного моря в 1993–2012 годах в верхнем 30-метровом слое и осолонение в более глубоких слоях на основе данных о профилях «базовой» солености и результатах реанализа.

Научная и практическая значимость работы. Предложенный алгоритм позволяет снизить уровень проблемы ограниченности данных контактных измерений при получении ежесуточных трехмерных термохалинных полей, соответствующих по пространству и времени данных альтиметрии. Что, в свою очередь, дает возможность проводить предварительный анализ пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей еще до привлечения численного моделирования. Трехмерные поля псевдоизмерений обеспечивают численные модели гидродинамическими и совместных с ними (в частности, биогеохимическими) как начальными полями, так и данными для их корректировки в течение необходимого времени экспериментов или исследований. Кроме того, оригинальный алгоритм потенциально может позволить восстанавливать трехмерные ежесуточные поля псевдоизмерений температуры и солености не только в Черном море, но и схожих акваториях в условиях ограниченности контактных наблюдений. Разработанная методика выполнения ретроспективного анализа может быть использована в том числе для анализа

вихревой динамики, сезонной и межгодовой изменчивости термохалинных полей с точностью, сопоставимой и выше, чем у существующих на данный момент реанализов.

Личный вклад. Постановка и формулировка задач проводились совместно с научным руководителем, с которым обсуждались основные научные результаты и формулировки выводов. Автором были проведены усовершенствование метода адаптивной статистики ассимиляции данных наблюдений в модели циркуляции Черного моря. Реализован алгоритм восстановления трехмерных полей псевдоизмерений температуры и солености по редким данным контактных измерений на гидрологических станциях, данных буев-профилемеров и альтиметрии для Черного моря. Проведены численные расчеты и анализ полученных результатов.

Степень **Достоверности** полученных результатов определялось следующим. Поля температуры, солености, скоростей течений и уровня моря, полученные из данных реанализа, сопоставлялись с данными контактных и спутниковых наблюдений: профилями, измеренными буями *Argo* и *CTD*-зондами в ходе экспедиционных работ, картами аномалий уровня моря *AVISO*, а также с результатами выполненных ранее реанализов гидрофизических полей Черного моря. Сравнительный анализ проводился также на основе восстановленных трехмерных полей псевдоизмерений температуры и солености. Величины рассчитанных статистических оценок точности восстановленных полей оказались сопоставимы или значительно меньше в сравнении с имеющимися на данный момент реанализами для Черного моря.

Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842.

В тексте диссертации имеются все необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе на научные работы, выполненные соискателем.

Список публикаций соискателя по теме диссертации состоит из 20 работ, из которых 10 статей в рецензируемых научных журналах и 10 тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях. Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 10 работ в рецензируемых научных журналах, что является достаточным количеством при защите кандидатской диссертации. Материалы, изложенные в диссертации, прошли апробацию на 10 конференциях всероссийского и международного уровня.

Вместе с тем, к работе можно сделать следующие **Замечания**.

1. В уравнениях (3.5) и (3.14) для восстановления ковариационных функций ошибок полей при реализации фильтра Калмана используются нормированные автокорреляционные функции полей ошибок, зависящие только от расстояния между точками сеточной области численной модели. При этом в тексте диссертации не приводятся ни их аналитические представления, ни соответствующие графики. Это затрудняет или делает невозможным понимание пространственной структуры полей ошибок оцениваемых параметров.
2. Из рисунка 3.16 диссертации следует, что на глубинах менее 50 м естественная изменчивость, стандартное среднеквадратическое отклонение восстановленных полей от измеренных и по данным реанализа весьма близки. Этот факт подтверждается и рисунком 3.17, из которого следует, что наибольшие ошибки скорректированных полей по температуре также приурочены к глубинам менее 50 м. Поэтому возникает вопрос о необходимости применения коррекции модельных данных по предложенной методике на этих глубинах. Возможно, что более рационально будет использовать методику коррекции полей только на глубинах более 50 м, а на меньших - использовать только коррекцию на основе спутниковых данных, приуроченных к поверхности моря.

Отмеченный недостаток не снижает общую положительную оценку выполненной работы.

Диссертация является завершенным научным исследованием, полностью соответствующим требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Лишаев Павел Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17. Океанология.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на семинаре Отдела численного моделирования гидрофизических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова» (ФГБУ «ГОИН», протокол семинара №6 от 17.12.2024).

Кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
Отдела численного моделирования гидрофизических процессов,
и.о. заведующего Лабораторией моделирования гидродинамики
прибрежной зоны Федерального государственного бюджетного учреждения
«Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова»

Подпись А.В. Григорьева заверяю:
Ученый секретарь ФГБУ «ГОИН»



Григорьев Александр Валентинович
А.А. Остроумова

«10» февраля 2025 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова»

Адрес: 119034, г. Москва, Кропоткинский пер., д.6, стр.1

Телефон/факс: +7 (499) 246-72-88

Адрес электронной почты: adm@oceanography.ru