

ОТЗЫВ

официального оппонента Иванова Владимира Владимировича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника кафедры океанологии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова на диссертационную работу Кубряковой Елены Адиловны «Моделирование процессов горизонтального и вертикального транспорта соли и биогенных элементов в Черном море», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.28 – Океанология

Диссертационная работа Е.А. Кубряковой посвящена изучению влияния горизонтальной и вертикальной циркуляции вод Черного моря на его халинную структуру и потоки биогенных элементов.

Актуальность выбранной темы обоснована определяющей ролью вертикального и горизонтального обмена в формировании термохалинной структуры вод в условиях изолированности Черного моря от Мирового океана. Поскольку целый ряд важных вопросов, связанных с влиянием изменчивости горизонтальной и вертикальной циркуляции, на термохалинную структуру требуют уточнения, сформулированные в диссертации задачи представляют очевидный научный интерес. Адекватное реальности описание физических процессов также является необходимым условием для надежного прогнозирования состояния экосистем. С учетом этого, полученные результаты могут быть применены для улучшения параметризации биогеохимических процессов в экосистемных моделях Черного моря, что в перспективе может дать возможность повысить эффективность использования биоресурсов и информационно обеспечивать контроль экологических рисков, связанных с техногенными и природными факторами.

Построение диссертационной работы является логичным и стройным, что обеспечивает естественную взаимосвязь отдельных глав. Базовая теоретическая концепция исследования строится на установленном в предыдущих исследованиях факте, что циклоническая циркуляция вод Черного моря приводит к дивергенции и подъему вод в центре моря и их опусканию на периферии бассейна. В то же время, важные детали этой крупномасштабной динамической структуры не были ранее удовлетворительно объяснены. В частности, это касается роли вертикальной циркуляции в поддержании стационарного (на межгодовом масштабе) холодного промежуточного слоя – характерной особенности вертикальной гидрологической структуры Черного моря. Несомненным достоинством диссертации является рассмотрение широкого диапазона физических и химических процессов в их взаимосвязи, что указывает на глубокие и разносторонние

знания соискателя по тематике диссертационной работы. В целом, необходимо подчеркнуть, что полученные соискателем результаты являются новыми, а личный вклад в их достижение является определяющим.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения. Объем диссертации 179 стр., включая 61 рисунок, 5 таблиц и 196 наименований в списке использованных источников.

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определена его научная новизна, фундаментальная и практическая значимость, дана оценка достоверности полученных результатов, и приведены сведения о личном вкладе автора, апробации работы, публикациях по теме диссертации и о структуре диссертации.

В первом разделе рассмотрены известные особенности физической и биогеохимической структуры Черного моря и обсуждены существующие математические модели экосистемы. По результатам обсуждения, автором сделан обоснованный вывод, о сохранении актуальности вопросов трансформации и перераспределения биохимических элементов, что в частности связано с недостаточным пониманием механизмов горизонтального и вертикального массообмена.

Во втором разделе выполнено исследование роли вертикальной скорости в формировании термохалинной структуры вод Черного моря. Основу для анализа составили расчеты на одномерной гидродинамической модели. В отдельных подразделах описана параметризация вертикальной скорости, согласно которой максимум вертикальной скорости наблюдается в подповерхностном слое в зимний период, когда Основное Черноморское течение наиболее развито. Далее приводятся уравнения примененной гидродинамической модели, построенные на основе одномерной версии модели океанической циркуляции ROM. Результаты выполненных расчетов наглядно демонстрируют, что без учета вертикальной скорости происходит постепенное выравнивание температуры по всей глубине, что противоречит реальности. Полученный результат дает автору объективные основания для заключения о значимости вертикальной скорости для воспроизведения наблюдаемых особенности термохалинной структуры вод.

В разделе 3 проводится исследование горизонтального массо- и солеобмена на основе разработанной боксовой гидродинамической модели Черного моря. Подробно описан механизм обмена солью между периферией и центральной частью моря, обусловленный сезонной изменчивостью вертикальной скорости. Выполнены количественные оценки объема воды и соли, транспортируемой из центральной части

моря к его периферии, находящиеся в согласии с результатами, полученными ранее другими авторами балансовым методом. Дано описание разработанной соискателем боксовой гидродинамической модели Черного моря с выделением водной массы континентального склона и центрального бассейна. Рассмотрен механизм формирования солености поверхностных вод Черного моря под действием горизонтального обмена веществом в процессе горизонтальной турбулентной диффузии и вертикальной циркуляции. Показано, что в холодный период года в результате циклонической циркуляции ветра формируется экмановский перенос, приводящий к оттоку воды от центра моря к периферии в верхнем слое.

В четвертом разделе на основе математического моделирования исследуется связь биогеохимических и динамических процессов между центральной частью бассейна и его периферией. На основе модельных экспериментов с использованием одномерной физико-биогеохимической модели получены оценки связи интегральной и поверхностной биомассы фитопланктона с зимним потоком тепла и температурой поверхности моря. В частности, установлено, что при изменении зимнего потока тепла заметно меняется биомасса диатомовых водорослей. Неожиданным результатом выполненных расчетов следует считать вывод автора, что биопродуктивность уменьшается при усилении вертикальных движений? Подобная ситуация не типична для средних условий в морских бассейнах, поскольку именно вертикальные движения обеспечивают перенос субстанций между структурными зонами, тем самым способствуя транспорту кислорода и биогенных элементов, необходимых для функционирования биологической «цепочки». Автор объясняет подобную нестандартную ситуацию расширением слоя нитроклина, сопровождающуюся уменьшением максимальной концентрации нитратов, что в условиях Черного моря производит более существенный эффект по сравнению с влиянием восходящих движений на возрастание их концентрации в верхнем слое моря. Согласно выполненному анализу, вариации в значениях концентрации биогенных элементов, поступающих с речным стоком, меньше влияют на величину содержания нитратов в слое максимума в центральной части моря, что свидетельствует в пользу того, что вертикальные движения и связанный с ними горизонтальный перенос могут оказывать существенное влияние на функционирование экосистемы.

В Заключении перечислены основные результаты проведенных в рамках диссертационной работы исследований. Для каждой из глав и разделов диссертации указаны конкретные выводы. Основные научные выводы работы сформулированы в автореферате, который полностью отражает содержание диссертации.

В целом, представленная к защите диссертационная работа производит весьма благоприятное впечатление. Помимо описания оригинальных результатов в диссертации проведен подробный обзор публикаций по тематике работы, что говорит о высокой степени осведомленности соискателя о достигнутых ранее результатах по тематике исследования. Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Положения, выносимые на защиту, составляют оригинальный научный результат, который может быть квалифицирован как решение актуальной научной проблемы. Полученные автором выводы достоверны, и обоснованы анализом, содержащимся в диссертационной работе. Основные результаты диссертации опубликованы в 16-ти статьях, 6 из которых входят в перечень ВАК. Результаты, представленные в диссертации, неоднократно обсуждались на российских и международных научных конференциях и симпозиумах и получили одобрение ведущих специалистов.

Диссертационная работа выгодно отличается своей целостностью, способностью автора выполнить крупное научное исследование, от постановки фундаментальной научной проблемы, через теоретический анализ и обработку экспериментальных (модельных) данных до получения оригинальных выводов и их обоснования. Результаты работы могут найти непосредственное практическое применение в научных учреждениях Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России и Российской Академии наук, занимающихся прогнозированием экологического состояния Черного моря и оценкой его биоресурсов. Работа базируется на современных методах математического моделирования динамики деятельного слоя моря и биогеохимических процессов. Диссертация написана ясным языком, грамотно и аккуратно оформлена.

В диссертации содержится ряд недостатков/неточностей:

1. Стр. 23. «Дополнительный вклад в вертикальную ячейку циркуляции дают потоки плавучести, формирующиеся под влиянием распресняющего действия материкового стока и поступления соленых вод Мраморного моря с нижнебосфорским течением...». Из данной фразы и рисунка 1.2 формально следует, что распресняющее влияние речного стока вносит дополнительный вклад в опускание вод в периферийной поверхностной части моря, что, очевидно, противоречит базовой физике, поскольку распреснение увеличивает плавучесть. Требуется пояснить, что в этом случае имел в виду автор?
2. Стр. 66. «В настоящей работе рассматривается влияние крупномасштабной ячейки циркуляции на горизонтальный перенос соли». Не ставя под сомнение значимость крупномасштабной ячейки циркуляции для горизонтального переноса соли в

Черном море, представляется, что было бы уместным привести в тексте существующие оценки относительного вклада этого механизма в сравнении с другими, перечисленными ранее в тексте, а именно: синоптические вихри, шельфовые волны, дрейфовые течения, апвеллинги. Такая оценка позволила бы убедительнее обосновать, почему из всех возможных влияющих механизмов, автор выбрал для рассмотрения именно крупномасштабную циркуляционную ячейку?

3. Стр. 83. «Это значение, примерно, в 3 раза ниже, чем значения, полученные [ранее другими авторами]. Это различие может быть связано с тем, что оценки проводились разными методами». Не могу согласиться с предложенным автором объяснением столь большого различия в полученных оценках. Различие в три раза не может быть связано с различием в методах, при условии, что использованные методы правильно отражают физику исследуемого процесса. Далее автор указывает, что в «описанном выше подходе учитывалась сезонная изменчивость вертикальной скорости, которая способствует горизонтальному массообмену». Т.е., неявно постулируется, что предложенный в диссертации метод, учитывающий сезонную изменчивость, лучше описывает перенос вод из центра моря к периферии, чем применявшиеся ранее методы. Вероятно, этот тезис и следовало явно озвучить в этом фрагменте текста, чтобы избежать некорректной формулировки?
4. Стр. 118, рис. 4.9, стр. 119 «За исключением эксперимента с $k=1,75\dots$, все эксперименты показывают наличие одного основного максимума биомассы фитопланктона». С чем связано появление двух максимумов биомассы фитопланктона при $k=1,75$? Фактически, уже при $k=1,5$ (рис. 4.9 – зеленая кривая) структура графика меняется – появляется «плато» с примерно постоянными значениями биомассы. Как это можно объяснить?

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе.

Диссертация Кубряковой Елены Адиловны представляет собой законченную научную работу, в которой на основании выполненных автором исследований получены обоснованные выводы, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Работа выполнена автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора

диссертации в науку. Основные научные результаты опубликованы, и в диссертации автор надлежащим образом ссылается на цитируемые источники, заимствованные материалы и их авторов. Таким образом, считаю, что диссертационная работа Кубряковой Елены Адиловны «Моделирование процессов горизонтального и вертикального транспорта соли и биогенных элементов в Черном море» соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.28 – Океанология, а ее автор заслуживает присвоения ему искомой степени.

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник кафедры океанологии географического факультета
Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук

Владимир Владимирович Иванов

«19 02 2019 г.

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова

119991, Москва
ул. Ленинские горы, д. 1
тел.: 8 (495) 939-22-38
эл. почта: vladimir.ivanov@aari.ru

Подпись В.В. Иванова удостоверяю

Иванов

Е.А. Кубрякова
диссертация
Ломоносов