

## Отзыв

официального оппонента доктора химических наук Дубинина Александра Владимировича на работу Масевич Анны Владимировны «Динамика кислорода в основном пикноклине Черного моря», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – океанология

Представленная диссертационная работа Масевич А.В. посвящена анализу динамики кислорода в аэробной зоне Черного моря за последние 50 лет на фоне меняющегося климата и потока органического вещества. Эта работа является продолжением исследований, начатых ранее руководителем соискателя чл.-корр. РАН Коноваловым С.К., и основана на огромном материале Морского гидрофизического института. Относительно тонкий кислородный слой моря регулируется поступлением кислорода из поверхностных слоев моря к холодному промежуточному слою за счет зимних конвективных процессов. Потребление кислорода происходит при окислении органического вещества. Баланс этих процессов определяет распределение кислорода в верхнем слое Черного моря. Изменение продукции органического вещества и рост температуры холодного промежуточного слоя приводят к изменению содержания кислорода в системе. Автор работы исследует причины наблюдаемого изменения содержания кислорода и приходит к выводу, что в последние 20 лет основная причина снижения кислорода в системе является потепление климата как следствие снижения числа холодных зим.

Актуальность работы состоит в необходимости исследовании причин и зависимостей кислородосодержания в системе Черного моря. От этого зависит толщина кислородного слоя моря и его экологическая безопасность. Новизна исследования заключается в получении новых закономерностей содержания кислорода за последние 20 лет в связи с потеплением климата, уменьшением количества холодных зим и снижением конвективного перемешивания в поверхностном слое моря. Реакция морской среды на климатические изменения отчетливо видна на содержании кислорода. Такие долгопериодные наблюдения абсолютно необходимы для понимания процессов происходящих в меромиктических водоемах, к которым относится Черное море. Интересно, что изменения в потоке органического углерода в новейший период, которые также приводят к изменению количества кислорода в системе, учтены привлечением данных по содержанию нитратов, которые являются продуктом окисления органического вещества. Все полученные данные глубоко обоснованы как применением ранее проверенных методов и подходов (к примеру, использование 1.5 мерной модели Л.И.Иванова, А.С.Самодурова и С.К.Коновалова), так и доказательством правомерности применения новых подходов (использование нитратов как индикатора процессов

окисления органического вещества, сравнение спутниковых данных по хлорофилу а с величиной первичной продукции). Главный результат работы заключается в получении зависимости между температурой холодного промежуточного слоя и содержанием в нем кислорода за последние 20 лет, который показывает, что температура слоя растет, а концентрация кислорода падает, что при неизменном уровне биопродуктивности поверхностных вод однозначно свидетельствует о влиянии климата.

Диссертация объемом 151 страница состоит из введения, заключения, списка литературы (170 ссылок, из них 78 на английском языке) и 4 разделов, в конце каждого из них диссертант кратко формулирует основные выводы. Работа содержит 5 таблиц и 38 рисунков.

Во введении автор определяет актуальность исследования, формулирует степень изученности проблемы динамики кислорода в аэробном слое Черного моря, определяет цели и задачи исследования, обосновывает новизну и выдвигает защищаемые положения.

Первая глава (у автора раздел) обычно традиционно посвящен обзору литературы на тему диссертации. В данной работе он получил довольно незатейливое название – «Обзор современного состояния проблемы» и состоит из двух разделов. Первый посвящен обзору поведения кислорода в морской воде, второй – физико-географическому описанию Черного моря, его гидрологии и гидрохимии. Если вторая часть описана хорошо и развернуто, то первая дана очень кратко с особым акцентом на вариации концентраций кислорода в океане, его источники и процессы расходования, на влияние потепления климата и ее связь с деоксигинацией океана в пелагиали и прибрежных районах, на доминирующее влияние органического вещества на расход кислорода в прибрежных районах. Даны сведения о слое минимальных концентраций кислорода и его глубине и, наконец, о бассейнах с постоянной концентрацией сероводорода – впадине Кариакто, фьорде Фрамварен и крупнейшем водоеме планеты – Черном море. Раздел посвященный Черному морю написан хорошо, автор дает кратко физико-географическую характеристику моря, его гидрологическую структуру, описывает распределение гидрохимических параметров, формулирует основные представления о межгодовых изменениях кислорода в водах Черного моря как результат изменения биопродуктивности вод моря.

Вторая глава диссертационной работы посвящена материалам и методам исследования. В ней кратко описаны и даны ссылки на использованные методики определений кислорода, сероводорода, нитратов и нитритов. Описан метод изопикнического анализа гидрохимической структуры Черного моря. Расчет потоков кислорода выполнялся по известной модели Л.И.Иванова, А.С.Самодурова, и С.К.Коновалова, которая в настоящее время отражает наиболее обоснованно перемешивание в Черном море за счет вертикальной адвекции и турбулентной диффузии

и вопросов не вызывает. Здесь следует отметить, что автор пытается описать полученные профили продукции и потребления кислорода в отдельные периоды времени. Хотя, когда читаешь главу 2, периоды динамики кислорода автором еще не выделены, различия в поведении кислорода не продемонстрированы.

В третьей главе рассматриваются межгодовые изменения распределения кислорода в глубоководной части моря. Точкой отсчета взят 1969 год как наименее подверженный антропогенному влиянию. На рис. 3.3 приведены средние концентрации кислорода для выделенных периодов наблюдения 1969, 1980-1992, 1993-2005 и 2007-2019. Они различаются, но не ясна роль пунктирных линий, что это, доверительный интервал? Автор считает, что характеристики 1969 года близки к среднемноголетним. Периодом эвтрофикации назван интервал 1980-1992 годов, когда поток азота и фосфора в речном стоке существенно увеличил первичную продукцию Черного моря. В современный период 2007-2019 годы биопродуктивность снизилась до уровня 1969 года, а концентрация кислорода снижается на фоне повышения температуры ХПС. В этой же главе рассмотрено изменение первичной продукции моря и показано, что в 1981-1982 величина первичной продукции в 10 раз превышала таковую в 60-е годы. В настоящее время величина первичной продукции снизилась в 2.5 раза, но осталась чуть выше, чем в 60-е годы прошлого столетия. Утилизация органического вещества в рассматриваемые периоды привела к росту концентрации нитратов в 1984-1991 годах, которые впоследствии снизились с 7 мкмоль/л до 3 мкмоль/л. Автором убедительно показан рост сероводорода на изопикне 16.4 с 11 мкМ до 21 мкМ в начале настоящего столетия.

В 4 главе автор рассматривает факторы, влияющие на межгодовую изменчивость кислорода в Черном море. Фактора два – окисление органического вещества и поставка кислорода в ходе конвективных процессов в зимний период. Первый - функция первичной продукции моря и оценивается не только данными по хлорофиллу а, но величиной концентрации нитратов в хемоклине. Эти данные показывают, что в последние 20 лет биогеохимические процессы характеризуются постоянством и невысокой интенсивностью. Проведенный анализ зависимости температуры и концентрации кислорода в ХПС показывает их антикорреляцию и свидетельствует, что концентрация кислорода в настоящий период определяется растворимостью газа в воде. Это привело к поднятию границы субкислородной зоны. Расчет потребления и поставки кислорода ниже плотности 14.6 (ядро ХПС) показал, что потребление заметно доминирует на всем оксиклине и отличается от более ранних периодов наблюдения, когда в верхней части оксиклина наблюдалась поставка кислорода. Эти весьма интересные данные, хорошо подтверждены удачными на мой взгляд рисунками потребления/продукции кислорода (рис.4.5) и финальным рисунком, который показывает межгодовую зависимость концентрации кислорода в ХПС от температуры этого слоя.

В заключении автор коротко подводит итог работе, формулируя основные выводы о выделении периодов наблюдений на основании доминирующих процессов окисления органического вещества кислородом или его поставки в результате зимнего конвективного перемешивания верхней толщи воды Черного моря. Результаты и подходы этой работы могут быть широко использованы в исследованиях черноморской экосистемы и имеют прогностический характер на ее развитие в будущем при сохранении тенденции дальнейшего потепления климата.

Замечания:

1. К введению в автореферате (стр.1) и диссертации (стр.4):

Географическое положение Черного моря не может обусловить ограниченный обмен. Обмен ограничивает морфометрия дна пролива Босфор.

К сожалению, защищаемые положения сформулированы слишком упрощенно и не отвечают сути работы. На мой взгляд, нельзя защищать количественные оценки межгодовой динамики концентрации кислорода и других параметров (первичной продукции, концентрации нитратов, или анализ соотношения роли биогеохимических и физических процессов. Как можно защищать анализ? Анализ - это процесс получения результата, а защищать надо новые результаты и выявленные закономерности. Например, как это сформулировано автором в новизне научных результатов. Первое защищаемое положение могло быть сформулировано так: «Выделены периоды преобладающего влияния физических (гидрологических) и биогеохимических факторов, определяющих вариации концентрации кислорода в слое основного пикноклина, дана их количественная оценка». Поскольку для доклада основных положений диссертационной работы выделяется довольно мало времени - всего 20 минут, то и строить доклад необходимо на основании защищаемых положений, то есть основных результатов автора. Поэтому формулировать защищаемые положения необходимо в форме тезисов, которые будут обоснованы и раскрыты в докладе.

2. К главе 2. В связи с тем, что концентрации кислорода с середины 90-х годов изучались не по всему морю, а на площади вокруг полуострова Крым, автор работы провела сравнение данных по кислороду, полученных в рейсе 1985 года для всего моря и для площади между 32 и 37 градусами восточной долготы и 43-45 градусами северной широты (рис.2.1). Результаты визуально значимо не различались. Отсюда автор работы сделала вывод, что сокращение площади наблюдения с 90-х годов не вносит значимую ошибку в полученные результаты. 1985 год был богат экспедициями (номера с 46 по 59 в таблице 2.1). Какая именно экспедиция использована для сравнения не указывается. Однако, из рис. 3.5 и 3.6 отчетливо видна неоднородность распределения концентраций кислорода по площади моря, восточная часть моря более богата кислородом, чем западная в 1985 и 1995 годах. Сокращение площади наблюдений, мне кажется, могло повлиять на

результаты исследований между 1995 и 2016 годами. Тем более, что количество измерений кислорода между 1996 и 2015 годами катастрофически мало, судя по рис. 2.3, в сравнении с периодами до и после.

3. К главе 3. Наличие повторов. На стр.67 обсуждаются профили потребления/продукции кислорода, которые будут продемонстрированы и обсуждены только в 4 главе (рис.4.5).

4. К главе 4. Мне кажется, «физический поток кислорода» термин неудачный, он не отражает сути перемещения кислорода. Также не удачен термин «продукция кислорода» в оксиклине (рис. 4.5). За счет чего может идти «продукция» кислорода на глубине с плотностью воды 15-15.4. Его продукция невозможна с точки зрения происходящих окислительно-восстановительных процессов. Мне кажется, для ясности, «продукцию» кислорода надо заменить на «поставку» физическими процессами перемешивания из ХПС.

В целом, несмотря на некоторые замечания, которые были отмечены выше, работа Масевич А.В. представляет собой законченное исследование, в котором на основании обработки собственных результатов и базы данных МГИ впервые показано сокращение содержания кислорода в поверхностном слое Черного моря, обусловленном климатическими факторами. Основное содержание диссертации отражено в автореферате. Защищаемые положения соответствуют содержанию диссертационной работы. По теме диссертации опубликованы 6 работ в реферируемых журналах из списка ВАК.

Данная работа отвечает требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Масевич Анна Владимировна заслуживает присуждения искомой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – океанология.

Руководитель Лаборатории геохимии

Отдела геологии и геодинамики

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт океанологии

им. П.П. Ширшова Российской академии наук

доктор химических наук

Александр Владимирович Дубинин

117997 Москва, Нахимовский проспект, 36

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии

им. П.П. Ширшова Российской академии наук

E-mail: [dubinin\\_av@mail.ru](mailto:dubinin_av@mail.ru), [dubinn@ocean.ru](mailto:dubinn@ocean.ru)

Тел. +7 910-483-58-81



15.07.2023