

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Масевич Анны Владимировны
“ДИНАМИКА КИСЛОРОДА В ОСНОВНОМ ПИКНОКЛИНЕ ЧЕРНОГО
МОРЯ”, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата
географических наук по специальности 1.6.17.- океанология

В настоящее время, на основе экспедиционных наблюдений, установлено, что в открытом Мировом океане и в его прибрежной части происходит уменьшение содержания растворенного кислорода. Этот процесс начался примерно во второй половине 20-го века (например, Breitburg et al., Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. 2018; Limburg et al., Ocean deoxygenation: A Primer. 2020). Потеря кислорода Мировым океаном является чрезвычайно важным гидрохимическим изменением, которое может приводить к изменениям в функционировании экосистем в разных его областях. Происходящие изменения имеют свои региональные особенности, прежде всего, это касается прибрежных акваторий и средиземноморских морей (Tishchenko et al., Acidification and deoxygenation north-western part of the Japan/East Sea. 2021). Знания об основных движущих силах и механизмах наблюдаемых изменений концентрации кислорода важны как на региональной, так и на глобальной шкале. В этой связи диссертационная работа Анны Владимировны, посвященная изучению межгодовой изменчивости концентрации кислорода в основном пикноклине Черного моря, мной рассматривается как чрезвычайно **актуальной**.

Диссертационная работа, выполненная в ФГБУН ФИЦ МГИ, изложена на 151 странице, включая список литературы (170 наименований), пять таблиц, 38 рисунков, введение, четыре главы, заключение.

Во **введении** автором работы сформулированы **актуальность** – “...изучение процессов, определяющих динамику кислорода в слое основного пикноклина, является первостепенно актуальной задачей” и **цель** – “...изучение процессов, определяющих межгодовые изменения распределения концентрации кислорода в слое основного пикноклина Черного моря”, с которыми я полностью согласен. Следует отметить особенность Черного моря – наличие в глубоководной части

моря анаэробной области для глубин более 150 – 200 м. По этой причине вертикальному распределению кислорода в Черном море, области сосуществования кислорода и сероводорода, биогеохимическим процессам в субкислородной зоне посвящено большое количество работ. Результаты этих работ лаконично суммированы в разделе **“степень разработанности темы исследования”**, что указывает на способность автора к обобщениям результатов междисциплинарного характера.

Действительно, временная изменчивость содержания кислорода в основном пикноклине и вертикальная миграция верхней границы субокисленной зоны зависят от **“конкуренции”** между вертикальными потоками кислорода, сероводорода и органического вещества в разные годы. Забегая вперед, отмечу, что расшифровка этого сложного ребуса Anne Владимировне удалась благодаря привлечению исторических вертикальных профилей концентраций кислорода, биогенных веществ, сероводорода, результатов измерений первичной продукции, модельных расчетов вертикального переноса с учетом скорости кажущегося поглощения кислорода. Совокупность используемых диссертанткой инструментов позволила получить результаты, которые сводятся к установлению роли климатических факторов (потепление верхнего слоя моря) на подъем верхней субкислородной зоны, что представляет собой **теоретическую значимость**, а ее учет в освоении ресурсов моря – **практическую значимость**.

Степень **достоверности** результатов работы А.В. Масевич не вызывает сомнений. Она опирается на океанографические результаты, которые были получены с помощью современной химической и океанологической аппаратуры, а также верифицированных модельных расчетов потоков и скорости кажущегося поглощения кислорода.

Результаты работы представлены и обсуждены диссертантом на 9 конференциях международного и национального уровня. По материалам диссертации опубликованы 19 печатных работ, 6 из них – в рецензируемых журналах, рекомендованных перечнем ВАК, 1 раздел монографии и 12 тезисов докладов и материалов конференций.

Первый раздел посвящен обзору современного состояния исследуемой проблемы. Отмечается, что в настоящее время происходит снижение концентрации

кислорода как в открытом океане, так и в прибрежных акваториях. Перечисляются факторы (стр. 22), оказывающие влияние на концентрацию кислорода в морской воде. К ним относятся глобальное потепление, которое, во-первых, снижает растворимость и, во-вторых, уменьшается интенсивность вертикального переноса кислорода от верхних горизонтов в глубокие слои моря из-за усиления плотностной вертикальной стратификации вод. Автором отмечается важность продукционных процессов (первичная продукция), которые обогащают среду кислородом, а дыхание морских организмов и микробиологическое окисление органического вещества приводят к изъятию кислорода. Справедливо отмечается, что совокупность этих процессов формирует особенности вертикального профиля растворенного кислорода в каждом регионе мирового океана. В этом разделе Анна Владимировна дает подробное описание географии Черного моря, его гидрологической структуре и гидрохимическим особенностям, главная из которых – анаэробная область для глубин более 200 м. В целом, раздел хорошо структурирован, понятно написан. Однако, автором допущена опечатка при написании “формулы” органического вещества. В уравнениях (1.1), (1.3), (1.4) на стр. 45 напечатано: $C_{106}(NH_3)_{16}(H_3PO_4)$, а надо: $(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}(H_3PO_4)$. На стр. 40 и 44 приводятся два взаимно исключающих утверждения о влиянии пикноклина на поток взвешенного органического вещества: 1) “В тоже время наличие пикноклина сказывается в меньшей степени на скорости оседания, а значит и потоке взвешенного органического вещества” (стр. 40); 2) “Высокие градиенты плотности в слое основного пикноклина оказывают влияние также и на скорость оседания органического вещества” (стр. 44). Очевидно, необходимы дополнительные разъяснения к вышецитированным утверждениям.

Итогом этого раздела является ясная формулировка научной задачи диссертации: “В настоящей работе предстоит оценить и сравнить межгодовую изменчивость концентрации кислорода под влиянием физических и химико-биологических процессов на различных этапах эволюции экосистемы Черного моря.” (стр. 50).

Во втором разделе представлены методы определения гидрохимических параметров, дается описание используемых данных, изложены особенности представления гидрохимических параметров на изопикнических поверхностях,

излагаются методики расчета вертикального потока кислорода, скорости продукции/потребления кислорода и расчета первичной продукции.

Следует отметить высокий уровень гидрохимических методик измерения концентраций кислорода, биогенных веществ и сероводорода (вернее, суммарных форм восстановленной серы), который используется в диссертации. На основе многочисленных литературных данных автор работы приходит к достаточно обоснованному подходу изучения вертикальной гидрохимической структуры относительно условной плотности вод. Такой подход позволил диссертантке провести оценку качества данных, полученных в разные годы, создать объединенный массив гидрофизических и гидрохимических данных, т.е. выполнить первоначальную необходимую “черновую” работу, которая позволила в дальнейшем установить разные тенденции динамики кислорода в основном пикноклине на временной шкале. В этом разделе ясно показаны источники используемых данных (список экспедиций, Таблица 2.1), расположение станций (рис. 2.2) и количество измерений (рис. 2.3). Из представленного материала видно, что автором проделана очень большая работа по обработке первичного материала.

Менее ясно написан раздел, посвященный расчету вертикального потока кислорода и скорости. Например, на рис. 2.5б приведен профиль скорости вертикальной адвекции вод с максимумом этой величины, соответствующим условной плотности 15.5, но это область пикноклина (рис. 1.7). Область пикноклина характеризуется максимальной вертикальной устойчивостью вод, т.е. минимальной скоростью вертикального переноса воды. Однако к рис. 2.5б нет никаких пояснений. В разделе 2.4 используется словосочетание “коэффициент диффузии”, а надо использовать словосочетание – “коэффициент турбулентной диффузии”. На стр. 66 неправильно дана размерность для потока, для скорости биогеохимического потребления/продукции вещества, концентрации. Эти величины имеют размерность: моль/(м²год), моль/(м³год), моль/м³, соответственно.

Важный результат этого раздела состоит в том, что “...данные судовых измерений и спутниковые данные о концентрации хлорофилла-*a* имеют высокую корреляцию ($r=0.95$)...”. Этот важный результат позволил автору диссертации объединить судовые и спутниковые наблюдения в единый массив данных для расчета первичной продукция в исследуемый период времени.

В третьем разделе диссертации представлены результаты межгодовых изменений содержания кислорода в основном пикноклине Черного моря на временном интервале 1969 – 2019 гг. На основании рис.3.3 и Таблицы 3.1 в работе принято, что данные 1969 года относятся к состоянию моря, на которое не оказывается значимое воздействие человека. Поэтому они “...принимаются в качестве исходных для оценки дальнейших антропогенных и климатических изменений структуры вод Черного моря“ (стр. 74), с чем я согласен. В работе рассматриваются данные трех временных интервалов состояния моря: 1980–1992, 1993–2005, 2007–2019, которые сравниваются относительно 1969 года и между собой. На основе гидрологических (t , S , σ_t), гидрохимических (растворенный кислород, нитраты, сероводород) и гидробиологических (хлорофилл, первичная продукция) данных даются количественные оценки динамики указанных выше параметров для различных временных интервалов. Обсуждение динамики кислорода для каждого временного интервала ведется на высоком профессиональном уровне в терминах “эвтрофикация - дистрофия”. Под ними автор подразумевает увеличение скорости поступления органического вещества в среду (эвтрофикация) и уменьшение скорости поступления органического вещества в среду (дистрофия). Если заменить термин “дистрофикация” на термин “олиготрофикация”, то данные в диссертации определения полностью согласуются с определениями, ранее приведенными в работе (Nixon S.W. Eutrophication and the macroscope // *Hydrobiologia*, 2009. V. 629. P. 5–19.), которую почему-то автор диссертации не цитирует. Эти определения я полностью разделяю, а также обсуждение установления причин временной динамики кислорода в терминах “эвтрофикация – дистрофикация”, на мой взгляд, очень правильное. Расшифровка причин временного изменения содержания кислорода в основном пикноклине задача нетривиальная, потому что к одному и тому же результату могут привести разная интенсивность процессов нагрев/охлаждение и продукция/деструкция. Причем, физический процесс нагрев/охлаждение может оказывать влияние на динамику кислорода как через изменение растворимости, так и через изменение интенсивности вертикального перемешивания. На основе комплексного анализа данных, выполненных в третьем разделе, автор диссертации, на мой взгляд, в целом пришла к правильным выводам, которые суммированы на стр. 104. Наиболее

важные из них – олиготрофикация моря в период с 1993 по 2005 гг. вследствие уменьшения поставки биогенных веществ в эвфотический слой. В период с 2007 по 2019 гг. скорость продукции органического вещества остается примерно на одном и том же уровне, а содержание кислорода уменьшается в пикноклине из-за нагрева вод и снижения интенсивности вентиляции в холодном промежуточном слое.

В данном разделе следует отметить неправильное использование некоторых слов (словосочетаний): вместо словосочетания “органическое вещество” пишется “органика” (например, стр. 90, 91); вместо “стационарное состояние”, пишется “равновесное состояние” (например, стр. 101, 103, 106).

В четвертом разделе диссертации рассматриваются факторы, влияющие на межгодовую изменчивость содержания кислорода в глубоководной части Черного моря. Следует отметить, что факторы, влияющие на межгодовую изменчивость кислорода в основном пикноклине, а именно нагрев/охлаждение и продукция/деструкция, вернее, разная их интенсивность, уже рассматривались при обсуждении каждого из гидрохимических параметров в разделе три. В четвертом разделе, на мой взгляд, обсуждение ведется с более общих позиций для каждого из перечисленных факторов, поэтому этот раздел оправдан. Тем более что здесь представлены результаты модельных расчетов потоков кислорода и скорости продукции/поглощения кислорода (подраздел 4.3). На мой взгляд, рисунки 4.5 очень важные для понимания общей картины движущих сил, которые регулируют вертикальные потоки кислорода и скорости его потребления и продукции на каждом временном интервале и глубинах от области фотосинтеза до анаэробного слоя. Обычно эти потоки и скорости относятся к единице площади и к единице объема, соответственно. Однако, судя по рассчитанным значениям, эти величины относятся ко всей рассматриваемой площади Черного моря, для данного горизонта, т.е. уравнения (2.2), (2.3) надо умножить на площадь бассейна для данной глубины. К сожалению, нигде не обсуждаются эти детали расчетов, также уместно было бы указать величину площади.

По каждому из разделов диссертации мной сделаны критические замечания, они носят редакционный характер и не затрагивают основных достижений представленной работы. Основные результаты, полученные в работе, суммированы в последнем разделе диссертации – **Заключение**. Они являются логичными,

обоснованными, поскольку вытекают непосредственно из результатов работы, полученных в каждом из разделов диссертации. Автореферат отражает содержание диссертации.

Диссертация Масевич А.В. написана ясным языком, с интересом читается. В диссертации имеются необходимые ссылки на научные работы соискателя, предшествующие публикации других авторов, источники используемых материалов и данных наблюдений. Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах из списка ВАК Российской Федерации. В целом я оцениваю работу как междисциплинарное исследование. Диссертация затрагивает такие разделы океанологии как гидрохимия, гидрология, гидробиология и экология. Цельный характер работе придает сверхзадача – установление причин временной изменчивости кислорода в основном пикноклине моря. Эта задача была решена. Диссертация является важным шагом современного понимания гидрохимической структуры вод Черного моря.

Диссертация является научно-квалификационной работой и **соответствует критериям**, установленным пунктами 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, в редакции 2016 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Масевич Анна Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – океанология.

Официальный оппонент

главный научный сотрудник лаборатории гидрохимии
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва
Дальневосточного отделения Российской академии наук
доктор химических наук (специальность 02.00.04 - физическая химия)

Тищенко Павел Яковлевич



Почтовый адрес: 690041, г. Владивосток, Балтийская, 43
Телефон: (423) 243 34 72, E-mail: tpavel@poi.dvo.ru

г.н.с., д.х.н.



П.Я. Тищенко

Я, Тищенко Павел Яковлевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

" 29 " мая 2023 г.

Подпись П.Я. Тищенко заверяю

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН) кандидат географических наук Шлык Наталья Васильевна

" 29 " мая 2023 г.

