

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертационной работы  
**Масевич Анны Владимировны**  
«Динамика кислорода в основном пикноклине Черного моря»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата географических наук  
по специальности 1.6.17 – Океанология

**Актуальность темы работы.** Изучение изменчивости кислорода в Черном море продолжается уже много лет и основные процессы, определяющие характер изменений пространственного и вертикального распределения концентрации кислорода в водах Черного моря в целом изучены. Однако с течением времени эти процессы и их соотношение существенным образом изменяется, что требует дополнительного исследования современного состояния моря. Анализу основных процессов, определяющих баланс кислорода в водах Черного моря, посвящена данная работа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 151 страницу и содержит 5 таблиц и 38 рисунков. Библиографический список включает в себя 170 наименований, в том числе 78 на английском языке. Автореферат (23 стр.) в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

### **Основные результаты, изложенные в диссертации**

*В первом разделе* рассмотрены причины глобального снижения содержания кислорода в морских водах, дано описание процессов, определяющих содержание кислорода в морской воде, а также представлены особенности вертикального распределения кислорода в морской воде. Рассмотрено физико-географическое описание Черного моря, особенности его гидрологической и гидрохимической структур. Отдельное внимание уделено сезонной и межгодовой изменчивости холодного промежуточного слоя (ХПС) Черного моря как одной из особенностей структуры вод моря.

Проведен анализ литературных источников, посвященных рассмотрению причин межгодовых изменений содержания кислорода в основном пикноклине Черного моря. Отмечено, что до настоящего времени влияние климатических изменений на физический поток кислорода в глубинные слои детально не было рассмотрено.

*Во втором разделе (методическом)* представлены основные принципы аналитических методик определения используемых в работе гидрохимических параметров - кислорода, сероводорода, нитратов, степени насыщения вод. Приведены особенности изопикнического метода анализа, а также обоснование его применения для анализа данных Черного моря. Использование шкалы условной плотности позволяет решить проблему пространственно-временной неоднородности массивов экспедиционных данных. Представлено описание исходных постанционных данных, на которых основаны все полученные результаты. Приведены схемы расположения океанографических станций с определением содержания кислорода и других гидрохимических параметров. Дано описание метода получения средних профилей гидрохимических параметров. Приведено описание методик расчета потоков кислорода и величины первичной продукции. Расчеты физического потока кислорода, а также скорости первичной продукции и деструкции органического вещества выполнены с использованием много лет успешно применяемой стационарной модели вертикального обмена в Черном море. Описана методика расчета первичной продукции (ПП) по экспедиционным данным концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое глубоководной части моря. Метод основан на эмпирической регрессионной зависимости ПП от концентрации пигмента в приповерхностном слое.

*В третьем разделе* проведен анализ межгодовых изменений содержания кислорода в слое основного пикноклина Черного моря. Рассмотрены межгодовые изменения вертикального распределения кислорода для отдельных характерных периодов эволюции черноморской

экосистемы. Установлено, что концентрация кислорода в верхней части основного пикноклина в 1980–1992 гг. в среднем составляла 229 мкмоль/л. В 1993–2005 гг. она увеличилась до 241 мкмоль/л, а в 2007–2019 гг. сократилась до 194 мкмоль/л.

Рассмотрены межгодовые изменения величины первичной продукции. Показано, что в 1981–1982 гг. величина первичной продукции возросла и достигала значений 400 г С/м<sup>2</sup>·год. В период 1985–1995 гг. величина первичной продукции была в пределах 100–180 г С/м<sup>2</sup>·год и в среднем составляла 140 г С/м<sup>2</sup>·год. С 1998 г. и по настоящее время величина первичной продукции находится на уровне ~100 г С/м<sup>2</sup>·год.

Проведен анализ межгодовых изменений концентрации нитратов, как показателя поступления и деструкции (окисления) органического вещества в слой основного пикноклина. Выполнен анализ межгодовых изменений концентрации нитратов. Показано, что концентрация нитратов в слое основного пикноклина после стремительного роста в середине 1980-х – начале 1990-х гг. снижается и практически достигла значений периода до начала эвтрофикации Черного моря.

Выполнен анализ межгодовых изменений концентрации сероводорода в верхней части анаэробной зоны (глубина залегания условной плотности  $\sigma_t = 16,4$  кг/м<sup>3</sup>) как косвенного показателя количества оседающего органического вещества. Описана динамика H<sub>2</sub>S в разные выделенные периоды эвтрофикации моря. В современный период резкого прироста концентрации сероводорода вблизи границы анаэробной зоны не наблюдается. Сделан вывод о том, что поток органического вещества из аэробной зоны в настоящий период стабилизировался, а система находится вблизи равновесного состояния.

**В четвертом разделе** приведены оценки влияния процесса эвтрофикации на содержание кислорода в основном пикноклине Черного моря. Описаны выполненные расчеты величины первичной продукции и анализ восстановленных профилей концентрации нитратов, а также данных о

концентрации сероводорода в верхней части анаэробной зоны. Анализ данных указывает на снижение уровня ПП в 4 раза по сравнению с максимальными величинами в начале 1980-х, однако в 2,5 раза выше значений до начала интенсивной эвтрофикации. Отмечено, что изменения распределения кислорода в современный период в значительной степени определяются изменениями интенсивности вентиляции вод вследствие потепления климата.

Рассмотрены изменения характеристик холодного промежуточного слоя, как основного источника кислорода в воды основного пикноклина Черного моря. Показано, что для периода до начала активной эвтрофикации 1960–1970-х гг. характерно относительно стабильное состояние слоя пикноклина, когда содержание кислорода определялось физическими процессами вентилирования вод. В период эвтрофикации 1980–1992 годов, в отличие от доэвтрофикационного периода, зависимость концентрации кислорода от температуры в ядре ХПС определялась не изменениями растворимости (корреляция статистически незначимая). В этот период основным процессом, определяющим изменения концентрации кислорода в слое основного пикноклина, был процесс его расходования на окисление органики. Интенсивность потока ОВ превышала физический поток кислорода. В период дистрофикации 1993–2005 гг. происходило снижение интенсивности обновления ХПС, увеличение его температуры и снижение трофического уровня глубоководной части Черного моря. В результате поток органического вещества в слой основного пикноклина сократился. Как следствие наблюдалась тенденция увеличения концентрации кислорода в слое основного пикноклина по сравнению с периодом эвтрофикации. В начале столетия поток поступающего в пикноклин ОВ стабилизировался, однако из-за слабого поступления кислорода в ХПС в 2010 г. наблюдалось минимальное содержание – в среднем 5 мкмоль/л. После этого экстремума содержание  $O_2$  в средней части скачка плотности начала возрастать до 60 мкмоль/л в 2019 г. В современный период концентрация кислорода в слое

основного пикноклина определяется физическими процессами растворимости газа в воде и его потока из ХПС в подстилающий слой при сохраняющейся низкой и достаточно постоянной величине потребления кислорода на окисление органического вещества. Хотя трофический уровень центральной части моря невысокий, однако повышение температуры верхних слоев вод привело к снижению интенсивности их вентиляции. Как следствие средняя концентрация кислорода на верхней, в центральной части и на нижней границе окислина в настоящее время минимальная за весь период наблюдений.

В разделе приведены оценки межгодовых изменений потоков кислорода в слое основного пикноклина. Построены профили потоков и продукции/потребления кислорода, проведен анализ изменения характера профилей для каждого из выделенных периодов.

В **Заключении** приводятся восемь основных результатов диссертационной работы, которые в сокращенном виде описывают изложенные в двух последних главах основные положения выполненной работы. Выводы отражают заявленную цель работы и соответствуют пяти поставленным задачам. В пункты с перечислением основных результатов включены наиболее важные цифровые характеристики рассматриваемых параметров и их многолетней динамики.

**Обоснованность и достоверность результатов.** Объем проанализированных результатов 151 экспедиции по историческим базам данных и полученных автором в 14 морских экспедициях оценок гидрохимических параметров позволил сделать в работе обоснованные выводы. Достоверность результатов подтверждена стандартными проверенными методиками определения гидрохимических параметров в морской воде, используемыми в МГИ РАН на протяжении нескольких десятков. Полученные с помощью STD-зонда данные по температуре, электропроводности и гидростатическому давлению дали возможность исследования вертикального распределения физических параметров во всей

толще вод Черного моря и использования этих данных для дальнейших расчетов. Спутниковые снимки обеспечили оценку первичной продукции (уровень эвтрофикации) в поверхностном слое глубоководной части моря, которые были дополнены судовыми экспедиционными наблюдениями.

**Научная значимость.** Выполненный анализ межгодовых изменений концентрации кислорода, сероводорода, нитратов, первичной продукции, а также расчеты вертикальных потоков кислорода показали тенденцию снижения концентрации кислорода по всей толще аэробной зоны Черного моря. Процесс происходит на фоне сокращения потока оседающего органического вещества. Это обусловлено действием изменившихся климатических факторов. Вызванное потеплением верхних слоев вод Черного моря снижение интенсивности вертикальной конвекции приводит к уменьшению потока кислорода в более глубокие слои. Использование в работе многолетних массивов данных физических и химических параметров позволило проанализировать современное состояние гидрхимической структуры Черного моря и выявить основные особенности вертикального распределения кислорода за сорокалетний период времени.

#### **Новизна работы**

Значительный массив исторических данных 151 экспедиции и собственные результаты позволили выполнить статистически достоверные оценки исследуемых параметров. Проведены расчеты потоков кислорода для четырех выделенных временных периодов, характеризующихся разными условиями вентиляции ХПС и разным уровнем эвтрофикации. Анализ исторических данных и собственных экспедиционных результатов за последние четыре десятилетия выявил изменения в вертикальном распределении содержания кислорода в различных слоях моря. В настоящее время значительное понижение содержания кислорода в верхней, средней и нижней частях оксиклина связывается с процессами потепления и слабой вентиляцией ХПС.

Текст диссертации составлен в логически последовательном изложении вводной литературной информации из большого количества современных и исторических источников и полученных в работе научных результатов.

### **Вопросы и замечания по диссертации**

Тщательно проработанный текст диссертации, в которой каждое положение подкреплялись графическими материалами с результатами статистической обработки данных, не вызвал дополнительных вопросов. Изложенные ниже замечания носят редакционный характер и могут учтены при продолжении исследований в выбранном направлении.

1. Отдельные предложения очень перегружены конструкциями, что иногда затрудняет понимание изложенной мысли автора. Наверное стоило просто разбить такие предложения на более мелкие.

2. Хотя в работе напрямую не ставилась задача оценки качества морских вод, однако для более широкого использования полученных результатов в практической природоохранной деятельности наверное стоило упомянуть про существование граничного значения концентрации растворенного кислорода для водных объектов рыбохозяйственного значения ПДК=6,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Это автоматически повлекло бы расшифровку в методической главе формулы перевода единиц измерения не только из мл/л в мкмоль/л, но и в мг/л с указанием источника откуда были взяты переходные коэффициенты (с. 151).

Указанные замечания и пожелания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на ее главные теоретические и практические результаты. Они могут быть учтены автором при подготовке представляемого к защите доклада.

### **Заключение**

Кандидатская диссертация Масевич Анны Владимировны «Динамика кислорода в основном пикноклине Черного моря» является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой по специальности 1.6.17 – «Океанология». На основе исторических данных, собственных экспедиционных исследований и проведенных расчетов в работе получены новые результаты, имеющие важное научное и практическое значение.

В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и на 19 научных работ соискателя. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, шесть из которых удовлетворяют требованиям ВАК при Минобрнауки РФ.

Автореферат диссертации полностью отражает ее основное содержание. Диссертация полностью соответствует специальности 1.6.17 – «Океанология» и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а ее автор, Масевич Анна Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук.

Ведущий научный сотрудник ФГБУ «ГОИН»,

кандидат биологических наук,

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

119034, Россия, г. Москва, Кропоткинский пер., д.6, с. 1

Тел. +7 (499) 246-72-88

Александр Николаевич Коршенко

Подпись Коршенко Александра Николаевича заверяю.

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения  
«Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова»

15.10.2023 г.



Ивачёв Игорь Владимирович