

УТВЕРЖДАЮ

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

кандидат географических наук, доцент
Ивачев Игорь Владимирович



Ивачёв И.В.

«02» октября 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

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

на диссертационную 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

Актуальность темы работы. Актуальность исследования обусловлена тем, что растворенный кислород является одним из наиболее важных гидрохимических компонентов, обеспечивающих жизнедеятельность живых организмов в водной толще. В настоящее время наблюдается тенденция снижения содержания кислорода в водах Мирового океана. Это может вызвать серьезные изменения в экосистеме моря, такие как изменение биоразнообразия и биогеохимических циклов. Происходящие изменения имеют свои региональные особенности. Несмотря на то, что изучение изменчивости кислорода в Черном море продолжается уже много лет, процессы, определяющие характер изменений пространственного и вертикального распределения концентрации кислорода в водах Черного моря, требуют дополнительного исследования, поскольку эти процессы и их соотношение существенным образом изменяются. Анализ 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 в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Основные результаты, полученные в диссертации.

В первом разделе рассмотрены причины глобального снижения содержания кислорода в водах Мирового океана, 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. Проведен анализ литературных источников, посвященных рассмотрению причин межгодовых изменений содержания кислорода в основном пикноклине Черного моря. Отмечено, что процессы потребления кислорода были рассмотрены достаточно подробно, тогда как влияние климатических изменений на физический поток кислорода подробного рассмотрения не получило.

Во втором разделе представлены основные принципы методик определения гидрохимических параметров, используемых в работе. Приведены особенности изопикнического метода анализа, а также обоснование его применения для анализа данных, полученных в Черном море. Отмечено, что использование шкалы условной плотности позволяет решить проблему пространственно-временной неоднородности массивов экспедиционных данных. Представлено описание данных, на которых основаны все полученные результаты, приведены схемы расположения океанографических станций, на которых выполнялись определения содержания гидрохимических параметров. Дано описание метода получения

средних профилей гидрохимических параметров. Приведено описание методики расчета потоков кислорода, а также описание методики расчета величины первичной продукции.

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 ($\sigma_t = 14,6 \text{ кг/м}^3$) в 1980–1992 гг. в среднем составляла 229 ± 15 мкмоль/л, что на 45 мкмоль/л меньше, чем в 1969 г. В 1993–2005 гг. она увеличилась до 241 ± 34 мкмоль/л, а в 2007–2019 гг. сократилась до 194 ± 25 мкмоль/л. По всей толщине оксиклина между профилями 1980–1992 гг. и профилем 1969 г. наблюдалась разница концентрации кислорода $\sim 46\text{--}63$ мкмоль/л.

Рассмотрены межгодовые изменения величины первичной продукции. Показано, что в 1981–1982 гг. величина первичной продукции возросла и достигала значений $400 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{год}$, тогда как в 1960-е гг. она изменялась в пределах $40\text{--}63 \pm 18 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{год}$, а в 1970-е гг. составляла $220\text{--}250 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{год}$. Начиная с 1985 г. и до 1995 г. величина первичной продукции колебалась в пределах $100\text{--}180 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{год}$ и в среднем составляла $140 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{год}$. С 1998 г. и по настоящее время величина первичной продукции находится на уровне $\sim 100 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{год}$.

Проведен анализ межгодовых изменений концентрации нитратов, как показателя поступления органического вещества в слой основного пикноклина. 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.

Рассмотрены межгодовые изменения концентрации сероводорода в верхней части анаэробной зоны как косвенного показателя количества

оседающего органического вещества. Показано, что в современный период эволюции черноморской экосистемы, резкого прироста концентрации сероводорода вблизи границы анаэробной зоны не наблюдается. Сделан вывод о том, что поток органического вещества из аэробной зоны стабилизировался, а система находится вблизи равновесного состояния.

В четвертом разделе приведены оценки влияния процесса эвтрофикации на содержание кислорода в основном пикноклине Черного моря. Проведенные расчеты величины первичной продукции, анализ восстановленных профилей концентрации нитратов, данных о концентрации сероводорода в верхней части анаэробной зоны, а также сравнение полученных результатов с имеющимися литературными данными позволили сделать вывод, что в последние 20 лет биогеохимические процессы характеризуются постоянством и невысокой интенсивностью по сравнению с периодом эвтрофикации 1980-х гг. Отмечено, что изменения распределения кислорода в современный период в значительной степени определяются изменениями интенсивности вентиляции вод.

Рассмотрены изменения характеристик холодного промежуточного слоя, как основного источника кислорода в воды основного пикноклина Черного моря. Показано, что в период эвтрофикации 1980–1992 годов, в отличие от доэвтрофикационного периода, зависимость концентрации кислорода от температуры в ядре ХПС определяются не изменениями растворимости. В этот период основным процессом, определяющим изменения концентрации кислорода в слое основного пикноклина, был процесс его расходования на окисление органического вещества, интенсивность которого превышала физический поток кислорода. В период дистрофикации 1993–2005 гг. происходило сокращение физического потока кислорода из ХПС и одновременное снижение трофического уровня глубоководной части Черного моря в результате сокращения потока органического вещества. Наблюдалась тенденция увеличения концентрации кислорода в слое основного пикноклина, по сравнению с периодом

эвтрофикации. В современный период 2007–2019 гг. запас кислорода в ХПС значительно ниже по сравнению с предыдущими периодами. Потепление ХПС и снижение интенсивности пополнения запаса кислорода в ХПС приводит к значительному сокращению физического потока кислорода в слой основного пикноклина. В современный период концентрация кислорода в слое основного пикноклина определяется физическими процессами растворимости газа в воде и его физического потока из ХПС при сохраняющейся низкой и достаточно постоянной величине потребления кислорода на окисление органического вещества.

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.

Приведен анализ изменений запаса кислорода в слое основного пикноклина. Показано, что для периода до начала активной эвтрофикации 1960–1970-х гг. характерно относительно стабильное состояние, когда его содержание определялось физическими процессами вентилирования вод. Затем начинается переход системы в другое состояние, характерное для периода эвтрофикации 1980-х – начала 1990-х гг. Период дистрофикации 1993–2005 гг. характеризуется снижением интенсивности обновления ХПС, увеличением его температуры, а также сокращением потока органического вещества в слой основного пикноклина. Т.е. система стала возвращаться к исходному состоянию по уровню первичной продукции, однако содержание кислорода остается низким по сравнению с тем, которое наблюдалось в период до эвтрофикации. Такие низкие концентрации кислорода определяются его слабым физическим потоком.

В **Заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы.

Обоснованность и достоверность результатов. Достоверность результатов подтверждена методиками определения гидрохимических

параметров в морской воде, используемыми в МГИ РАН на протяжении нескольких десятков лет (Методы гидрохимических исследований..., 1978; Современные методы..., 1992). Приборная база отдела биогеохимии моря (полуавтоматическая бюретка «Metrohm» Dosimat-765, весы лабораторные электронные «Ohaus» Adventurer AR2140, весы лабораторные «Kern» EW620-3NM, набутылочные дозаторы «Brand» Dispensette S, дозатор Thermo Scientific Finnpiptette F1) позволила проводить высокоточные определения основных гидрохимических элементов. Полученные с помощью CTD-зонда «Sea-Bird 911 plus CTD» (фирмы Sea Bird Electronics, США) данные по температуре, электропроводности и гидростатическому давлению дали возможность исследования вертикального распределения температуры, солености и плотности во всей толще вод Черного моря, а также использовать эти данные для дальнейших расчетов.

Научная и практическая значимость. Выполненный анализ межгодовых изменений концентрации кислорода, сероводорода, нитратов, первичной продукции, а также расчеты вертикальных потоков кислорода позволили показать, что, несмотря на тенденцию сокращения потока оседающего органического вещества, концентрация кислорода по всей толще аэробной зоны продолжает сокращаться. Это обусловлено действием климатических факторов. Снижение интенсивности вертикальной конвекции, вызванное потеплением верхних слоев вод Черного моря, приводит к уменьшению потока кислорода в более глубокие слои и подъему верхней границы субкислородной зоны. Продолжение долговременных научных исследований позволило проанализировать современное состояние гидрохимической структуры Черного моря и дать прогноз возможных изменений.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы при анализе и прогнозировании возможных изменений экосистемы Черного моря.

Положительные особенности работы.

Новыми результатами в работе является систематизация сведений о физических и биогеохимических процессах, определяющих изменения вертикального распределения концентрации кислорода и описание изменчивости этих процессов с 1960-х гг. по настоящее время. Проведены расчеты потоков кислорода для выделенных временных периодов, характеризующихся разными условиями вентиляции ХПС, а также разными биогеохимическими условиями. Анализ данных за последние два десятилетия выявил изменения в содержании кислорода в различных слоях моря, в том числе значительное понижение содержания кислорода в слое оксиклина, что связывают с процессами потепления и слабой вентиляцией ХПС.

Следует отметить, что выполненная работа позволяет сделать очередной шаг в понимании комплекса процессов, происходящих в море и влияющих на функционирование его экосистемы.

Вопросы и замечания по диссертации.

1. В разделе 1.1.2 «Особенности вертикального распределения кислорода в морской воде» лучше было ограничиться только Черным морем, в связи с его спецификой, исключив излишние сведения по «распределению растворенного кислорода по глубинам в океанах», «схемы глобальной циркуляции вод Мирового океана» и т.д. мало относящимся к объекту исследования.

2. Вывод соискателя, сделанный на основе наблюдений на примере только одной экспедиции (не понятно за какой сезон и в каком году) о том, что «средние профили для всей экспедиции и для выборки станций практически совпадают...поэтому использование данных, покрывающих лишь часть акватории Черного моря, дает возможность говорить об изменениях, происходящих по всей акватории» представляется малообоснованным. Следовало проанализировать большее число экспедиционных наблюдений, выполненных во все сезоны года, для различных влияющих факторов (климатических изменений, различного уровня эвтрофикации и т.д.).

3. Диссертант анализирует межгодовые изменения кислорода в глубоководной части Черного моря, при этом не рассматривается сезонная изменчивость кислорода, непонятно как выделялся сезонный ход при рассмотрении межгодовой изменчивости. Например, в период 1993 – 2015 гг. проводилось только по 1 – 2 съемки глубоководной части Черного моря в год, не ясно какая ошибка определения среднегодовых значений кислорода в этот период и вообще стоило ли выделять отдельно период 1993 – 2005 гг. при таком малом числе наблюдений. Аналогично было бы неплохо рассмотреть многолетнюю изменчивость сезонных величин кислорода, чтобы выяснить их вклад в отмечаемые автором диссертации межгодовые изменения показателя.

4. В разделе «3.3 Межгодовые изменения концентрации нитратов» автором приводятся сведения по вертикальному распределению нитратов в глубоководной части Черного моря за различные периоды, но хотелось бы увидеть в работе, хотя бы оценочные среднегодовые величины поступления нитратов (соединений азота) в Черное море с речным стоком, атмосферными выпадениями и сточными водами.

Указанные недостатки, в целом, не снижают качества выполненной работы и ее научной ценности.

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 натурных исследований и проведенных расчетов в работе получены новые результаты, имеющие научное и практическое значение.

В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя. Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Требованиям ВАК при Минобрнауки РФ удовлетворяют 6 работ.

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

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и утвержден на открытом научном семинаре ФГБУ «ГОИН», протокол № 7 от 15 августа 2023 г.

Отзыв составлен:

Директор Севастопольского отделения федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», кандидат географических наук (специальность 11.00.08 - Океанология)

119034, г. Москва, Кропоткинский пер., д.6

Телефон: +79787239129, E-mail: sogoin@mail.ru



Николай Николаевич Дьяков

Заместитель директора федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», кандидат физико-математических наук (специальность 11.00.08 - Океанология)

119034, г. Москва, Кропоткинский пер., д.6

Телефон: +7 (499) 246-64-48, E-mail: ivz@geocentre.ru



Игорь Владимирович Землянов

Сведения о ведущей организации:

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, adm@oceanography.ru

Подписи Николая Николаевича Дьякова, Игоря Владимировича Землянова заверяю.

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

02 октября 2023 г.



Ивачёв Игорь Владимирович