

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского
центра «Морской гидрофизический
институт РАН»,
член-корреспондент РАН



Коновалов С.К.

«28» июня 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Морской гидрофизический институт РАН»

Диссертация «Особенности формирования окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в прибрежных районах Российского сектора Азово-Черноморского бассейна» на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – «океанология» выполнена в отделе биогеохимии моря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Гурова Юлия Сергеевна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в должности младшего научного сотрудника отдела биогеохимии моря.

В 2019 г. соискатель окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный

федеральный университет» по специальности 44.04.01 «Педагогическое образование».

Гурова Ю.С. окончила в 2022 г. очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано 09.09.2021 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Федеральным исследовательским центром «Морской гидрофизический институт РАН».

Научный руководитель – кандидат географических наук Орехова Наталья Александровна работает ведущим научным сотрудником и заведующей отделом биогеохимии моря, а также заведующей лабораторией мониторинга и исследования потоков парниковых газов и кислорода в морской среде Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По результатам рассмотрения диссертации Гуровой Ю.С. «Особенности формирования окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в прибрежных районах Российского сектора Азово-Черноморского бассейна» принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертация Гуровой Ю.С. посвящена комплексному исследованию влияния различных факторов на формирование окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в прибрежных районах Азово-Черноморского бассейна и бухтах Севастопольского региона.

Актуальность работы обусловлена недостатком современных данных о химическом составе поровых вод донных отложений (содержании растворенных O_2 , $Mn(II)$, $Fe(II, III)$, FeS , H_2S) в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна, а также отсутствием оценок влияния гидролого-

гидрохимических и геохимических факторов на формирование кислородных (аэробных), субкислородных и бескислородных (анаэробных) условий на границе вода – донные отложения.

Целью диссертационной работы является выявление особенностей развития окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в прибрежных районах Российского сектора Азово-Черноморского бассейна с использованием натурных данных и результатов численного моделирования.

С помощью методики полярографического анализа, адаптированной для Черного моря, получены новые экспериментальные данные о качественном и количественном составе поровых вод донных отложений, исследованы особенности вертикального и горизонтального распределения компонентов поровых вод донных отложений прибрежных районов Черного и Азовского морей. С использованием данных натурных наблюдений получены характеристики окислительно-восстановительных условий в водной толще и поверхностном слое отложений в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки.

Установлено, что в прибрежных районах Южного берега Крыма, в северо-восточном районе (от Таманского полуострова до г. Адлера) и Керченском предпроливье сформированы аэробные условия, в Каламитском, Каркинитском заливах, Керченском проливе, Севастопольской и Балаклавской бухтах сформированы субкислородные условия, а в Федосийском и Таманском заливах, а также в Круглой, Камышовой и Казачьей бухтах сформированы анаэробные условия.

В работе для воссоздания окислительно-восстановительных условий и прогноза их возможного изменения в толще воды и поверхностном слое отложений Южной бухты Севастопольского региона использовалась одномерная бентосно-пелагическая модель *Bottom RedOx Model (BROM)*. Сформирован массив гидрохимических и геохимических данных натурных наблюдений для их использования при валидации результатов численного моделирования динамики окислительно-восстановительных условий на

границе вода – донные отложения в Южной бухте. Анализ полученных результатов численного моделирования показал, что увеличение концентрации органического вещества в 2 раза по сравнению с концентрацией, наблюдаемой в акватории бухты, приводит к развитию анаэробных условий в придонном слое вод, а при снижении концентрации органического вещества в 2 раза в придонном слое вод развиваются аэробные условия. Установлена зависимость между величинами потока кислорода на границе вода – донные отложения и влажностью, пористостью, а также долей мелкозернистой фракции в отложениях. Показано, что содержание органического углерода в верхнем слое отложений и концентрация кислорода в придонном слое вод не являются определяющими факторами величины потока.

Диссертация Гуровой Ю.С. «Особенности формирования окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в прибрежных районах Российского сектора Азово-Черноморского бассейна» по объему выполненных исследований, новизне результатов, научному и практическому значению отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.

Постановка задач диссертационной работы проводилась соискателем совместно с научным руководителем к. геогр. н. Н.А. Ореховой. Аналитический обзор работ по теме исследования проводился соискателем лично. Совместно с научным руководителем осуществлялся отбор проб из поверхностного слоя (0–5 см) донных отложений и их колонок в экспедициях в Камышовой и Балаклавской бухтах, а также в прибрежных районах Азово-Черноморского бассейна. Выбор методики полярографического анализа, выполнение анализа, а также расчет количественных характеристик химического состава поровых вод (содержание растворенных O_2 , $Mn(II)$, $Fe(II, III)$, FeS , H_2S) проводились соискателем совместно с научным

руководителем. Интерпретация данных натурных измерений, а также выявление основных особенностей пространственной изменчивости геохимических характеристик донных отложений и химического состава поровых вод в прибрежных акваториях Черного моря и бухтах Севастопольского региона, отличающихся глубиной, а также особенностями гидродинамики, проводились соискателем самостоятельно. Выделение особенностей геохимической структуры донных отложений и оценка влияния различных гидролого-гидрохимических и геохимических параметров на формирование химического состава поровых вод и окислительно-восстановительных условий в них для различных районов шельфа Черного моря с использованием данных натурных наблюдений проводилось соискателем самостоятельно.

Соискателем были подготовлены массивы данных для валидации результатов численных расчетов по модели *Bottom RedOx Model (BROM)*: оценки концентрации кислорода, щелочности, pH, биогенных элементов в морской воде и содержание растворенных O_2 , Mn(II), Fe(II, III), FeS, H_2S в поровых водах по данным экспедиционных исследований. Соискатель принимал участие в проведении численных экспериментов, обработке, визуализации и анализе выходных данных модели, а также интерпретации полученных результатов.

Обсуждение результатов отдельных этапов исследования осуществлялось соискателем совместно с научным руководителем и соавторами научных публикаций. Соискатель лично представлял результаты работы на российских и международных конференциях и семинарах.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Отбор донных отложений проводился с помощью дночерпателя Петерсона в соответствии с требованиями нормативных документов и межгосударственного стандарта (ГОСТ, 1984; ISO, 2004). Отбор проб морской воды из придонного горизонта осуществляли с помощью батометра.

Для получения качественного и количественного состава поровых вод (содержание растворенных O_2 , Mn(II), Fe(II, III), FeS, H_2S) применялся

полярнографический метод анализа с использованием стеклянного Au–Hg микроэлектрода, соединенного с потенциостатом *DLK-60* (*Analytical Instrument Systems, Inc.*). При калибровке рабочего электрода, используемого для определения растворенных кислорода и сероводорода, использовались йодометрические методы прямого и обратного объемного титрования (*РД 52.10.742-2010*, *РД 52.10.736-2010*), а для определения восстановленных железа и марганца были приготовлены калибровочные растворы. Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается тем обстоятельством, что способ подготовки электрода, используемого в работе, является общепризнанным в области геохимии поровых вод и донных отложений.

Полученные в работе натурные данные не противоречат результатам исследований, опубликованных другими авторами в современных рецензируемых публикациях, для районов с похожими физико-географическими и океанологическими условиями.

Результаты расчетов получены с помощью одномерной бентосно-пелагической модели *BROM* – свободно распространяемого программного продукта с открытым кодом (<https://github.com/BottomRedoxModel>). Работы по верификации результатов численных расчетов с использованием модели *BROM* широко представлены в публикациях российских и зарубежных авторов для различных прибрежных районов по всему миру, включая Черное море.

Научная новизна результатов проведенных исследований.

Впервые для прибрежных районов Российского сектора Азово-Черноморского бассейна получены особенности пространственного распределения химического состава (распределение O_2 , $Mn(II)$, $Fe(II, III)$, H_2S) поровых вод верхнего слоя донных отложений.

Впервые для прибрежных районов Российского сектора Азово-Черноморского бассейна и бухт Севастопольского региона установлена связь между формированием окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения и гидрологическими (скорости течений),

геоморфологическими (глубина, рельеф дна), гидрохимическими характеристиками вод (содержание кислорода, степень насыщения им придонного слоя вод), геохимическими характеристиками отложений (гранулометрический состав, пористость, содержание органического углерода), на основе сформированного уникального массива данных.

Впервые для исследуемых прибрежных районов Черного моря и бухт Севастопольского региона выявлены зависимости между вертикальным распределением органического углерода в отложениях и концентрациями сероводорода в поровых водах донных отложений. Установлено, что с глубиной возрастает, как содержание органического углерода в колонках, так и концентрация сероводорода. Для бухт Севастопольского региона получена высокая положительная линейная корреляционная зависимость концентрации кислорода от доли крупно- и среднезернистой фракций в донных отложениях.

Впервые получены и проанализированы величины потока кислорода в верхнем слое донных отложений для исследуемых районов. Подтверждена зависимость величины потока кислорода от содержания органического углерода и доли крупно- и среднезернистой фракции в отложениях.

Впервые для Севастопольской бухты на основе одномерной бентосно-пелагической модели *BROM* получена оценка воздействия поступления большого количества органического вещества в акваторию на окислительно-восстановительные условия в донных отложениях и придонном слое вод.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Полученные в диссертации результаты расширяют современные представления о структуре и пространственной изменчивости геохимического состава донных отложений, характере вертикального распределения растворенных O_2 , $Mn(II)$, $Fe(II, III)$, FeS , H_2S в поровых водах отложений для мелководных акваторий (Керченский пролив), акваторий с затруднённым водообменом (Каркинитский, Таманский заливы), открытых приглубых акваторий с интенсивной динамикой вод (Южный берег Крыма,

северо-восточный район), высоким уровнем антропогенного воздействия (бухты Севастопольского региона).

Полученные натурные данные показали, что главными факторами, определяющими формирование анаэробных условий (Каркинитский и Феодосийский заливы) на границе вода – донные отложения являются преобладание мелкозернистой фракции в отложениях и интенсивное накопление органического углерода при слабой динамике вод. При формировании аэробных условий (Южный берег Крыма, северо-восточный район) главным фактором, определяющим окислительно-восстановительные условия, является динамика вод. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы при оценке рисков формирования и развития зон дефицита кислорода в донных отложениях и придонном слое вод, а также при разработке мер, направленных на оценку рекреационной и социально-экономической привлекательности прибрежных акваторий.

Ценность научных работ соискателя.

Ценность научных работ соискателя заключается в комплексном подходе к изложению результатов исследования пространственных особенностей химического состава придонного слоя вод (концентрация O_2 и степень насыщения им придонного слоя вод), геохимических характеристик донных отложений (гранулометрический состав, содержание органического углерода) и химического состава поровых вод верхнего слоя донных отложений (распределение O_2 , $Mn(II)$, $Fe(II, III)$, H_2S) в прибрежных районах Российского сектора Азово-Черноморского бассейна и бухт Севастопольского региона. Исследование включает в себя: получение и анализ новых данных натурных наблюдений; оценки особенностей пространственной изменчивости изучаемых характеристик придонного слоя вод, поровых вод и донных отложений; оценку влияния геохимических характеристик на формирование окислительно-восстановительных условий и поток кислорода в поверхностном слое донных отложений; анализ изменчивости характеристик химического состава придонных и поровых вод Севастопольской бухты при изменении условий среды с использованием

модели *BROM*; оценку динамики окислительно-восстановительных условий в водной толще и донных отложениях с использованием данных натурных наблюдений и численных расчетов.

Специальность, которой соответствует диссертация.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.17 – «океанология», отрасль наук – географические науки.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

По теме диссертации опубликовано в соавторстве 15 научных работ, из них 5 статей в рецензируемых научных изданиях [1–5] и 10 тезисов и материалов докладов на Всероссийских и Международных научных конференциях.

Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 5 работ в рецензируемых научных изданиях [1–5]. В их числе 3 работы в рецензируемых научных изданиях, входящих в наукометрическую базу Web of Science [2–4], 5 работ в изданиях, входящих в наукометрическую базу SCOPUS [1–5].

Статьи в рецензируемых журналах

1. **Куринная Ю.С.** Окислительно-восстановительные условия и характеристики донных отложений бухт Севастопольского региона / Ю.С. Куринная, К.И. Гуров, И.А. Забегаев, Н.А. Орехова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2022. – № 1. – С. 42–54. doi: 10.22449/2413-5577-2022-1-42-54. (**Kurinnaya Yu.S.** Redox Conditions and Characteristics of Bottom Sediments in the Bays of the Sevastopol Region / Yu.S. Kurinnaya, K.I. Gurov, I.A. Zabegaev, N.A. Orekhova // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. – 2022. – 1. – P. 42–54. doi: 10.22449/2413-5577-2022-1-42-54).

2. Гуров К.И. Формирование зон экологического риска в прибрежных акваториях Керченского пролива / К.И. Гуров, **Ю.С. Гурова**, Н.А. Орехова, С.К. Коновалов // Морской гидрофизический журнал. – 2022. – Т. 38, №6. – С. 637–654. doi: 10.22449/0233-7584-2022-6-637-654. (Gurov K.I. Formation of

the Ecological Risk Zones in the Coastal Water Areas of the Kerch Strait / K.I. Gurov, **Yu.S. Gurova**, N.A. Orekhova, S.K. Konovalov // Physical Oceanography. – 2022. – 29(6). – P. 619–635. doi:10.22449/1573-160X-2022-6-619-635).

3. **Gurova Y.S.** Characteristics of Bottom Sediments in the Coastal Areas of the Crimean Peninsula / Y.S. Gurova, K.I. Gurov, N.A. Orekhova // Land. – 2022. – 11. – P. 1884. doi: 10.3390/land11111884.

4. Гуров К.И. Физико-химические характеристики придонных, поровых вод и донных отложений шельфа северо-восточной части Черного моря / К.И. Гуров, **Ю.С. Гурова**, Н.А. Орехова // Морской гидрофизический журнал. – 2023. – Т. 39, №4. – С. 497–511. EDN: NGXQIH. (Gurov K.I. Physical and Chemical Characteristics of the Near-Bottom and Pore Waters, and the Bottom Sediments in the Northeastern Part of the Black Sea Shelf / K.I. Gurov, Yu.S. Gurova, N.A. Orekhova // Physical Oceanography. – 2023. – 30(4). – P. 454–467.).

5. **Гурова Ю.С.** Численное моделирование динамики окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в Севастопольской бухте / Ю.С. Гурова, Е.В. Якушев, А.В. Березина, М.О. Новиков, К.И. Гуров, Н.А. Орехова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2023. – №2. – С. 71–90. doi: 10.29039/2413-5577-2023-2-71-90. (**Gurova Yu.S.** Numerical Modelling of RedOx Condition Dynamics at the Water-Sediment Interface in Sevastopol Bay / Yu.S. Gurova, E.V. Yakushev, A.V. Berezina, M.O. Novikov, K.I. Gurov, N.A. Orekhova // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. – 2023. – 2. – P. 71–90. doi: 10.29039/2413-5577-2023-2-71-90).

Цитирования материалов и отдельных результатов других авторов в диссертации оформлены соответствующим образом. Результаты диссертационной работы в полной мере опубликованы в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих требованиям ВАК Российской Федерации.

Диссертация «Особенности формирования окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения в прибрежных районах Российского сектора Азово-Черноморского бассейна» Гуровой Юлии Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – «океанология».

Заключение принято на заседании Общеинститутского научного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН».

Присутствовало на заседании 26 членов Общеинститутского научного семинара. Результаты голосования: «за» – 26 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек, протокол №7 от «28» июня 2023 г.

Председатель

Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федерального исследовательского центра
«Морской гидрофизический институт РАН»,

доктор географических наук, член-корреспондент РАН

директор



Коновалов Сергей Карпович

Ученый секретарь

Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федерального исследовательского центра
«Морской гидрофизический институт РАН»,

кандидат физико-математических наук,

ученый секретарь

Алексеев Дмитрий Владимирович

