

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»

к.ю.н., доцент

В.Л. Михеев

2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Российский государственный гидрометеорологический университет»
на результаты исследований соискателя ученой степени кандидата
географических наук

Гребневой Елены Александровны

Диссертация «Роль водородного показателя как индикатора изменений морской среды Чёрного моря под влиянием климатических факторов и биогеохимических процессов» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Гребнева Елена Александровна была прикреплена к Федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет (ФГБОУ ВО РГГМУ), в соответствии с приказом № 27-а от «22» апреля 2025 г.

Гребнева Елена Александровна в 2011 году окончила специалитет Образовательного учреждения профсоюзов высшего профессионального образования «Академия труда и социальных отношений» по специальности

«Финансы и кредит», получив квалификацию «экономист». Диплом № 84509, ВСГ № 5800745 выдан 11 июля 2011 г.

Справки № 16 / УПКВК от 18 июля 2025 года и № 46.03.08/15 от 05 июля 2025 года об успешной сдаче трех экзаменов кандидатского минимума выданы ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» и ФГБОУ «Российский государственный гидрометеорологический университет» в 2025 году.

Научный руководитель – доктор географических наук, профессор Шилин Михаил Борисович, ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертационная работа «Роль водородного показателя как индикатора изменений морской среды Чёрного моря под влиянием климатических факторов и биогеохимических процессов» Гребневой Елены Александровны является законченной научно-квалифицированной работой, отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.21 – «Геоэкология» (Науки о Земле).

Актуальность темы определяется следующим.

Моря и океаны играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, поглощая около 30% антропогенных выбросов CO₂. Это приводит к подкислению вод (снижению pH), что негативно влияет на морские экосистемы, особенно на кальцифицирующие организмы, включая промысловые виды. В Черном море, где доминирует мидия *Mytilus galloprovincialis* (важный биофильтратор и объект марикультуры), изучение динамики pH ранее не проводилось системно. Существующие данные фрагментарны и охватывают лишь отдельные периоды.

Комплексный анализ пространственно-временной изменчивости pH в Черном море позволит оценить влияние закисления на экосистему и

экономически значимые виды, такие как мидия *Mytilus galloprovincialis*, что имеет как научную, так и практическую ценность для экологического мониторинга и устойчивого развития аквакультуры.

Личный вклад автора.

Все научные результаты диссертационной работы получены при непосредственном участии автора.

Контроль качества, статистическая обработка всех данных выполнены лично автором.

Современные экспедиционные данные, использованные в диссертации, получены при личном участии автора. Автор диссертационного исследования непосредственно участвовал в организации и проведении экспедиционных работ, включая отбор гидрохимических проб в акватории Чёрного моря. Автор осуществлял первичной обработку, контроль качества и статистическую обработку этих данных.

Соискатель активно участвовал в обсуждении и интерпретации результатов, подготовке научных публикаций, лично представлял результаты на научных конференциях, семинарах и школах.

Достоверность результатов, проведенных исследований обеспечивается:

- использованием современных данных из независимого массива ре-анализа, исторических данных контактных наблюдений из обширного числа источников: международные базы океанографических данных, научные публикации, отчеты, сборники, монографии и статьи советских и иностранных ученых, а также данные современных экспедиционных исследований;
- применением методов математической статистики;
- оценкой погрешностей расчета;

– апробацией результатов исследования на научно-практических конференциях и отражением основных результатов диссертации в открытой печати.

В ходе проведенного исследования получены следующие **новые научные результаты**:

Установлены закономерности пространственно-временной изменчивости рН в акватории Черного моря. Для глубоководной части, на поверхности характерны значения 8,22-8,38 ед. рН с уменьшением до 8,0 на глубине 150 м. Выявлены сезонные максимумы водородного показателя в марте и октябре, обусловленные биологической активностью фитопланктона. В северо-западной части моря обнаружены климатические колебания рН в диапазоне 8,42-8,47 единиц, с минимальными значениями в районе дунайского стока.

Разработана и применена оригинальная методика восстановления эквидистантного временного ряда рН. Методом спектрального анализа выявлена ранее неизвестная квазидекадная цикличность с периодом 10 лет в глубоководной части моря. Установлена и количественно оценена связь между фазами Восточно-Атлантического колебания и аномалиями рН:

- положительная фаза ВАК снижает рН на 0,08 единиц;
 - отрицательная фаза ВАК повышает рН на 0,09 единиц;
- Общая межфазная амплитуда составляет 0,17 единиц рН.

Впервые для Черного моря достоверно определена скорость подкисления вод за 65-летний период наблюдений 1957-2022 гг., составившая 0,024 единицы рН за десятилетие. Полученные значения согласуются с глобальными тенденциями, но демонстрируют региональную специфику.

Разработана прогностическая модель, устанавливающая количественную зависимость между снижением рН и изменениями морфометрии раковин мидии *Mytilus galloprovincialis*. Согласно прогнозу, к 2300 году ожидается уменьшение

Вертикальный профиль характеризовался наличием слабого сезонного подповерхностного максимума, связанного с процессами фотосинтеза, при этом амплитуда сезонных колебаний существенно уменьшалась ниже 50 м.

Сезонная динамика поверхностного рН в открытой части моря хорошо описывается суперпозицией годовой и полугодовой гармоник с общим размахом колебаний 0,05 единиц. Максимальные значения регистрировались в марте и октябре, что соответствовало периодам весеннего и осеннего цветения фитопланктона, тогда как минимумы наблюдались в июле и декабре-январе.

Спектральный анализ выявил наличие статистически значимой квазипериодической компоненты с периодом около 10 лет. Полученные результаты основаны на разработанной методике интерполяции эквидистантных временных рядов.

С использованием методики разностных композитов показано, что в зимний период положительная фаза Восточно-Атлантического колебания (ВАК+) вызывает снижение рН на 0,08 единиц, тогда как отрицательная фаза (ВАК-) приводит к повышению на 0,09 единиц, формируя межфазную разность в 0,17 единиц рН.

Получена достоверная оценка скорости снижения рН в поверхностным водах глубоководной части Чёрного моря. Результаты показывают, что с 1957 по 2022 год рН снижался со средней скоростью 0,024 единицы за десятилетие.

2. Климатические характеристики рН в северо-западной части Чёрного моря, акватории приустьевых взморья р. Дунай: В поверхностных водах исследуемого района диапазон климатических значений среднегодовых величин рН изменяется в пределах 8,42–8,47 при среднем по полю 8,46 ед. рН. Максимальные величины (8,45–8,47 ед. рН) сосредоточены в районе трансформации и перемешивания речных и морских вод. Вблизи дельты р. Дунай (в области превалирования речных вод) наблюдались более низкие величины 8,42–8,44 ед. рН. Сезонная динамика величины рН на поверхности в

максимального размера раковин на 24,5%, что свидетельствует о значительном негативном воздействии подкисления на кальцифицирующие организмы.

Полученные результаты обладают научной новизной и существенно расширяют современные представления о процессах подкисления вод Черного моря и их влиянии на морские экосистемы.

Практическая значимость работы заключается в создании методологической базы для оценки динамики подкисления морских вод и прогнозирования экологических последствий антропогенных изменений. Полученные результаты формируют научную основу для разработки мер по сохранению биоресурсов и управления природно-хозяйственными системами Черноморского региона. Установленные количественные оценки, включая прогнозируемое 24,5%-ное сокращение размеров мидии *Mytilus galloprovincialis*, имеют важное прикладное значение для обоснования стратегий адаптации к изменению климата и мониторинга антропогенного воздействия.

Зарегистрированные программы для ЭВМ могут служить алгоритмом для прогнозирования экстремальных значений pH и быть использованы в гидрометеорологических службах и образовательных курсах по геоэкологии.

Результаты, выносимые на защиту:

1. На основе данных наблюдений о pH за период с 1957–1996 гг. определены закономерности в пространственном распределении pH. В поверхностном слое значения pH варьируются в диапазоне 8,35–8,41 при среднем значении 8,38, демонстрируя снижение с глубиной до величин менее 8,0 на горизонте 150 метров. Наиболее низкие показатели pH наблюдались в центрах циклонических круговоротов, при этом пространственное распределение pH на всех глубинах в значительной степени определялось динамической структурой водных масс. Главной причиной сезонной вариации pH в подповерхностном слое главным образом обусловлены сезонной изменчивостью геострофической циркуляции и связанной с ней скорости вертикальных движений.

значительной степени определяется сезонным циклом в развитии биопродукционных процессов, зависящих от температурных условий и вертикальной стратификации, на которые существенным образом влияет объем стока речных вод. Корреляционная функция, характеризующая влияние расходов р. Дунай на величину рН, достигает максимума при временном сдвиге (запаздывании рН) на два месяца. В придонном слое приустьевых взморья Дуная процесса фотосинтеза практически нет, там происходит активный процесс деструкции (разрушения). Сезонная динамика в придонном слое характеризуется летним минимумом величины рН.

3. Разработанная прогностическая модель изменения рН, учитывающая региональные особенности (Крым–Краснодарский край) Черного моря, позволяет более точно прогнозировать последствия подкисления по сравнению с глобальными моделями. По результатам декомпозиции определены устойчивые сезонные колебания водородного показателя со средней амплитудой 0,055 единиц рН, что свидетельствует о выраженной годичной цикличности гидрохимического режима. Обнаружены значимые циклические компоненты с характерными периодами, варьирующимися от краткосрочных около 8 месяцев до свыше 2 лет. Установлен статистически значимый отрицательный тренд величиной -0,024 единицы рН за десятилетие, отражающий процесс прогрессирующего подкисления водной среды.

Прогнозируемое снижение рН до 7,5-7,65 к 2300 году будет менее выраженным, чем в Мировом океане 7,3-7,4. Но даже умеренное подкисление в сочетании с другими стресс-факторами (гипоксия, эвтрофикация) может привести к значительным нарушениям у кальцифицирующих организмов. Для мидии *Mytilus galloprovincialis* прогнозируется снижение максимального размера раковины на 24,5% (с 55,71 мм до 42,04 мм), что соответствует потере 13,67 мм абсолютного прироста.

Ценность научных работ соискателя заключается в том, что впервые проведен комплексный анализ пространственно-временной изменчивости рН в Черном море.

Разработаны оригинальные методические подходы:

- создана методика интерполяции эквидистантных временных рядов рН;
- создана методика учета закономерностей пространственного распределения и внутригодового хода рН для расчета средней по акватории величины водородного показателя в условиях ограниченности данных наблюдений.
- получены новые количественные оценки.

Таким образом, полученные результаты позволяют перейти от констатации фактов к прогнозированию и управлению экологическими рисками.

Соответствие паспорту специальности. Полученные научные результаты диссертационного исследования соответствуют паспорту специальности 1.6.21 – «Геоэкология» по следующим пунктам:

1. «Изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов»

5. Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны»

14. «Научные основы организации геоэкологического мониторинга природотехнических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды».

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Научные результаты диссертации опубликованы в 13 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, входящих в наукометрическую базу РИНЦ, в том числе 2 статьи по специальности 1.6.21 – «Геоэкология» и 2 статьи входящих в наукометрические базы Scopus и Web of Science. Кроме этого, зарегистрировано 2 результата интеллектуальной деятельности (РИД) и опубликовано 22 тезиса докладов, представленных на всероссийских и международных конференциях.

Список публикаций по теме диссертации:

1. **Гребнева Е.А., Шилин М.Б.** Анализ долгосрочных изменений pH в Чёрном море: Верификация данных реанализа Cmems BS-Biogeochemistry и натурных измерений // Естественные и технические науки, №3, 2025, С. 198–211. DOI: 10.25633/ETN.2025.03.19
2. **Гребнева Е.А., Шилин М.Б.** Долгосрочные изменения водородного показателя (pH) в водах Мирового океана и Чёрного моря: от первых исследований до современных тенденций // Естественные и технические науки, №3, 2025, С. 212–221. DOI: 10.25633/ETN.2025.03.20
3. Полонский А.Б., **Гребнева Е.А.** Климатическое распределение pH в глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – 2017. – Вып. 10 (30) – С.88 – 95.
4. Полонский А.Б., **Гребнева Е.А.** О долгопериодной изменчивости величины pH в глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – 2019. – Вып. 1 (35). – С. 63-71. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-1-63-71.
5. Полонский А.Б., **Гребнева Е.А.** Климатические характеристики водородного показателя вод приустьевой акватории у р. Дунай и его сезонная

изменчивость // Системы контроля окружающей среды. – 2020. – Вып. 1 (39). – С. 109-116. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-1-109-116.

6. Валле А.А., **Гребнева Е.А.**, Полонский А.Б. Анализ сезонной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик поверхностных вод северо-западной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – 2020. – Вып. 3 (41). – С. 39-48. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-39-48.

7. **Гребнева Е.А.** Разработка эмпирической модели долговременного изменения рН поверхностных вод глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – 2021. – Вып. 4 (46). – С. 22-30. DOI: 10.33075/2220-5861-2021-4-22-30.

8. Полонский А.Б., **Гребнева Е.А.** О межгодовой изменчивости величины рН в поверхностном слое глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – 2022. – Вып. 2 (48). – С. 12-21. DOI: 10.33075/2220-5861-2022-2-12-21

9. Полонский А.Б., **Гребнева Е.А.** Влияние Восточно-Атлантического колебания на аномалии рН в верхнем слое открытой части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – 2023. – Вып. 1 (51). – С. 15-26. DOI: 10.33075/2220-5861-2023-1-15-26.

10. Полонский А.Б., **Гребнева Е.А.** Оценивание климатического тренда рН в поверхностных водах открытой части Черного моря с учетом ограниченности данных наблюдений // Системы контроля окружающей среды. – 2023. – Вып. 3 (53). – С. 27-41. DOI: 10.33075/2220-5861-2023-3-27-41.

11. Полонский А.Б., **Гребнева Е.А.** Верификация данных ре-анализа CMEMS BS-Biogeochemistry по величине рН в Черном море с использованием результатов прямых измерений // Системы контроля окружающей среды. – 2024. – Вып. 1 (55). – С. 112-118. DOI: 10.33075/2220-5861-2024-1-112-118.

Статьи, входящие в наукометрическую базу Scopus и Web of Science:

1. Polonsky A., **Grebneva E.** pH Changes in the Black Sea Surface Waters from 1956 to 2020 // Advances in Science, Technology & Innovation IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development: Proceedings of 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-3), Tunisia 2021 “Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions (3rd Edition)” – Springer Nature Switzerland AG. Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland. 2024, P 253–256.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-43922-3>
2. Polonsky A.B., **Grebneva E.A.** The spatiotemporal variability of pH in waters of the Black sea // Doklady Earth Sciences. 2019. V 486, № 2, 2019 Pp. 669-674. DOI: 10.1134/S1028334X19060072.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2025660222. «Программа расчета коэффициентов корреляции между индексами атмосферной циркуляции и величинами рН» / **Гребнева Е.А.**, Шишкин Ю.Е.: заказчик и свидетельствует обладатель: ФГБНУ «Институт природно-технических систем»; Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22.04.2025 г.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2025660223. «Программа расчета аномалий величины рН в различные фазы климатических сигналов» / **Гребнева Е.А.**, Шишкин Ю.Е.: заказчик и свидетельствует обладатель: ФГБНУ «Институт природно-технических систем»; Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22.04.2025 г.

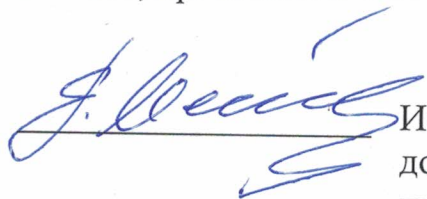
Диссертация «Роль водородного показателя как индикатора изменения морской среды Черного моря под влиянием климатических факторов и биогеохимических процессов» Гребневой Елены Александровны является законченной, самостоятельно выполненной научно-исследовательской работой, рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.21 – «Геоэкология».

Заключение принято на расширенном заседании кафедр информационных технологий и систем безопасности, прикладной информатики, прикладной и системной экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Присутствовало на заседании 12 человек, в том числе 4 доктора наук, 5 кандидатов наук.

Результаты голосования: «за» - 12 человек, «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 4 от «7» апреля 2025 г.

Председатель



Истомин Е.П.

доктор технических наук,
профессор, директор Института
информационных систем и
геотехнологий ФГБОУ ВО
«РГГМУ»

Секретарь



Алексеев Д.К.,
кандидат географических наук,
доцент, заведующий кафедрой
прикладной и системной
экологии ФГБОУ ВО «РГГМУ»

7 апреля 2025 г.

