

На правах рукописи

Котельянец Екатерина Александровна

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ КРЫМА**

Специальность 1.6.17. Океанология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Севастополь – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН»

Научный руководитель: доктор географических наук, член-корреспондент РАН Коновалов Сергей Карпович

Официальные оппоненты:

Завьялов Петр Олегович, доктор географических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, исполняющий обязанности заместителя директора по научно-организационной работе, руководитель лаборатории взаимодействия океана с водами суши и антропогенных процессов

Моисеенко Татьяна Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, заведующая отделом биогеохимии и экологии

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук»

Защита состоится 05 марта 2025 года в 14 ч. 00 мин. на заседании Диссертационного совета 24.1.229.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» по адресу: **299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» и на сайте Института http://mhi-ras.ru/thesis_defenses.html.

Автореферат разослан 20 декабря 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.229.01
кандидат географических наук

Харитоновна Людмила Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Прибрежная зона Крыма играет важную роль в экономическом развитии Азово-Черноморского региона и Российской Федерации. Актуальность работы обусловлена тем, что донные отложения, как сложная многокомпонентная система, играют важную роль в формировании гидрохимического режима водных масс и в общем функционировании экосистем водоемов и водотоков, являясь индикатором экологического состояния водосборного бассейна. При этом исследуемые акватории (Севастопольская, Казачья и Балаклавская бухты, Феодосийский залив, Керченский пролив) интенсивно эксплуатируются в экономическом аспекте, включая деятельность и транспортные возможности портовых хозяйств Крыма.

Сохранение прибрежной морской среды и оценка ее качества, исследование характеристик и процессов, определяющих это качество, являются приоритетными задачами. При оценке уровня антропогенной нагрузки на водные экосистемы одним из наиболее информативных объектов изучения являются донные отложения благодаря их способности аккумулировать загрязнения различной природы, поступающие в водоем на протяжении продолжительного периода. При этом они активно участвуют в круговороте веществ и энергии морской экосистемы и являются средой обитания многочисленных групп животных организмов – бентоса. Интенсивное использование биологического, минерального, рекреационного потенциала прибрежной зоны в последние годы привело к значительному увеличению антропогенной нагрузки. При этом исследования процессов и характеристик загрязнения донных отложений прибрежных районов не уделялось должного внимания.

Для понимания процессов, определяющих пространственно-временные особенности загрязнения донных отложений прибрежных районов, необходимо знать не только характеристики поступающих загрязнений, но и геохимические характеристики донных отложений, определяющие их способность накапливать загрязняющие вещества. К основным геохимическим характеристикам донных отложений, влияющим на процесс накопления загрязняющих веществ, включая микроэлементы, относятся соединения органического углерода $C_{орг}$ и неорганического карбонатного углерода $CaCO_3$. Из физических характеристик донных отложений, влияющих на процесс накопления загрязняющих веществ различной природы, следует отметить их гранулометрический состав и влажность (Гуров и др., 2014).

Первые сведения о накоплении отдельных элементов и их участии в седиментогенезе были получены М.А. Егуновым еще в конце 19-го века на примере почв и лиманов Черного моря (Митропольский, Безбородов, Овсяный, 1982). Значительный вклад в развитие данного научного направления внесли работы Н.М. Страхова и М.А. Глаголевой, А.Ю. Митропольского, В.А. Емельянова, А.А. Безбородова, С.К. Коновалова, А.С. Романова, Е.И. Овсяного, посвященные исследованию особенностей накопления и

распределения элементов в поверхностном слое черноморских отложений, а также их связи с различными типами донных отложений.

Как было отмечено выше, содержание в донных отложениях органического углерода ($C_{орг}$) является важным геохимическим параметром, оказывающим большое влияние на состояние морских экосистем в целом. Повышение концентрации $C_{орг}$ в их составе может вызывать дефицит кислорода, приводящий к изменению окислительно-восстановительного потенциала осадков и возникновению условий вторичного загрязнения водоема (Овсяный и др., 2015). Сорбционные свойства $C_{орг}$ по отношению ко многим химическим элементам, включая тяжелые металлы и радионуклиды, также хорошо известны (Матишов 2012, 2017).

Распределение $C_{орг}$ в донных отложениях тесно связано с их вещественным и гранулометрическим составом (Дацко, 1959; Шнюков и др., 1977; Федоров и др., 2009). Поэтому при установлении закономерностей его седиментации в морских бассейнах необходимо проведение литологических исследований.

Содержание карбонатов в донных отложениях в глубоководных осадках Черного моря, их морфологические, минералогические и генетические особенности хорошо изучены, поскольку карбонатонакопление – один из основных процессов седиментации в Черном море (Архангельский, Страхов, 1938; Бутузова, 1971).

Содержание и распределение тяжелых металлов, которые, по оценкам ВОЗ, являются основными загрязняющими веществами морской среды, могут служить показателем загрязнения акваторий и общей антропогенной нагрузки на них.

Изучение корреляционных связей между отдельными компонентами донных отложений, включая органическое вещество, их гранулометрическим составом и концентрациями микроэлементов и тяжелых металлов позволяет определить и прогнозировать экологическое состояние морской среды, условия развития и предотвращения экологически опасных явлений.

В прибрежных шельфовых районах Крыма, различающихся по своим океанографическим характеристикам и уровню антропогенной нагрузки, получены данные о многолетних мониторинговых исследованиях уровня загрязнения тяжелыми металлами, нефтепродуктами и хлорорганическими соединениями водной среды и донных отложений Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна (северо-западный шельф Черного моря, Севастопольская бухта, прибрежная зона Южного берега Крыма, Феодосийская бухта, Керченское предпроливье Черного моря, Керченский пролив и западная часть Азовского моря) (Петренко и др., 2014). Описаны наиболее подверженные антропогенному воздействию районы морской добычи углеводородов, портовых акваторий (дноуглубление, дампинг, рейдовые перегрузки), зоны высокой рекреационной нагрузки. В работе (Петренко и др., 2014) также дана оценка уровня накопления токсикантов в тканях и органах промысловых гидробионтов бассейна. Оценка современного состояния донных отложений бухт Севастопольского региона приведена в работах (Осадчая и др., 2004; Романов и др., 2007; Овсяный и др., 2003, 2007, 2010, 2019; Копытов и др., 2010; Орехова и др., 2009, 2018, 2021).

Приведенный выше анализ только части опубликованных данных о состоянии донных отложений в прибрежных акваториях Крыма позволил получить представление о степени изученности донных отложений мелководных акваторий по уровню содержания и распределения в них микроэлементов и тяжелых металлов. Однако в перечисленных работах мало внимания уделено изучению географических особенностей их распределения и уровня накопления в донных отложениях мелководных акваторий Севастопольского региона с затрудненным водообменом с открытым морем, к которым относятся практически все бухты Севастополя. К настоящему времени весьма ограничен объем информации о накоплении и содержании микроэлементов в акваториях с незатрудненным обменом с открытым морем (Феодосийский залив), а также в акваториях с интенсивным водообменом, широко используемых как транспортные магистрали (Керченский пролив). Для исследуемых в работе акваторий (бухты Севастопольского региона, Феодосийский залив и Керченский пролив) практически отсутствуют оценки связи распределения микроэлементов и тяжелых металлов с геохимическими и физическими характеристиками донных отложений. Кроме того, отсутствуют оценки причин возможного возникновения в исследуемых акваториях негативных экологических ситуаций. Перечисленные пробелы в исследованиях донных отложений прибрежных акваторий Крыма частично восполнены настоящей работой, которая посвящена изучению содержания и накопления микроэлементов (As, Ti, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr, Mn, Fe) в донных отложениях, что определяет актуальность проведенных исследований.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является анализ пространственного распределения и накопления микроэлементов в донных отложениях с учетом влияния их геохимических характеристик в прибрежных акваториях Крыма с различной интенсивностью водообмена с открытой частью моря.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- 1) получить современные данные о содержании микроэлементов в донных отложениях прибрежных акваторий Крымского полуострова (бухты Севастопольского региона, Феодосийский залив, Керченский пролив);
- 2) провести анализ особенностей пространственного распределения и содержания микроэлементов в донных отложениях прибрежных акваторий Крыма;
- 3) оценить влияние геохимических характеристик донных отложений ($C_{\text{орг}}$, CaCO_3 , гранулометрический состав) на накопление и пространственное распределение микроэлементов;
- 4) установить связь между содержанием микроэлементов и основными геохимическими характеристиками ($C_{\text{орг}}$, CaCO_3 , гранулометрический состав) методами статистического анализа;
- 5) выделить группы микроэлементов с максимальным влиянием на их распределение индивидуальных геохимических характеристик донных отложений ($C_{\text{орг}}$, CaCO_3 , гранулометрический состав).

Объект исследования – прибрежные акватории Крыма: бухты Севастопольского региона (Севастопольская, Казачья, Балаклавская), Феодосийский залив, Керченский пролив.

Предмет исследования – пространственное распределение микроэлементов (As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn) в донных отложениях прибрежных акваторий Крыма.

В диссертационной работе «Микроэлементы в донных отложениях прибрежных акваторий Крыма» используется термин «микроэлементы», который объединяет все анализируемые в работе элементы (As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn). Данные микроэлементы и их концентрации можно отнести и к макро-, и микроэлементам, а также и к тяжелым металлам (Перельман, 1979; Митропольский, Безбородов, Овсяный, 1982; Millero, 2011). Использование в настоящей работе термина «микроэлементы» обусловлено тем обстоятельством, что в природных экосистемах, которые включают водные акватории, донные отложения и биологические сообщества, он является общепринятым и не требует конкретизации свойств каждого элемента.

Методология и методы исследования. В рамках поставленных задач по формированию массива данных для настоящей работы были отобраны пробы поверхностного слоя донных отложений в период с 2003 по 2018 г. В общей сложности было отобрано и обработано более 1250 проб донных отложений, в которых автором работы было выполнено определение содержания микроэлементов и тяжелых металлов с помощью рентгенофлуоресцентного метода анализа, который признается оптимальным для изучения состава таких сложных структур, как донные отложения. А также определено содержание органического и неорганического углерода, гранулометрический состав донных отложений.

Объем проведенных определений (э. о. элемент-определений) по акваториям и годам составил: Севастопольская бухта (2006, 2008, 2016 гг.) – 876 э.о.; Казачья бухта (2003 г.) – 192 э.о., (2015 г.) – 175 э.о.; Балаклавская бухта (2005 г.) – 204 э.о., (2015 г.) – 346 э.о. (2018 г.) – 245 э.о.; Феодосийский залив (декабрь 2006 г.) – 264 э.о.; Керченский пролив (2007–2008 гг.) – 564 э.о.

При этом было выполнено 43 станции в Севастопольской бухте, 20 станций в Казачьей бухте и 48 станций в Балаклавской бухте, 20 станций в Феодосийском заливе и 21 станция в Керченском проливе. Координаты станций оставались постоянными в разные годы выполнения измерений.

Для определения микроэлементов использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа (Методика РФА, 2002).

Органический углерод определялся методом Тюрина по модификации Орлова (ДСТУ ISO 14235 2005; ДСТУ 4289: 2004). Неорганический углерод (карбонатность) определялся весообъемным методом после разложения карбонатов пробы соляной кислотой с учетом методических рекомендаций (ДСТУ ISO 10693:2001). Гранулометрический состав донных отложений определялся комбинированным ситовым методом (ГОСТ 12536-2014).

Расчеты и построение графиков проводились с помощью программ Microsoft Excel и Grapher, картографическое представление – с помощью

программы Surfer. Коэффициенты корреляции, а также их достоверность рассчитывались с помощью программы Statistica. В работе предполагалось, что коэффициент корреляции между рассматриваемыми параметрами является статистически значимым, если уровень достоверности равен или превышает 95 % ($p \leq 0,05$) и абсолютная величина коэффициента существенно отличается от нуля.

Научная новизна полученных результатов.

1) Впервые получены данные о содержании и особенностях пространственного распределения и накопления микроэлементов в морских донных отложениях прибрежных акваторий Крыма с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа.

2) Впервые для донных отложений мелководных прибрежных акваторий Крыма с различной интенсивностью водообмена получена информация об уровнях превышения геохимического фона для некоторых микроэлементов.

3) Впервые выделены группы микроэлементов по значимости коэффициентов корреляции с содержанием $C_{орг}$ (Zn, Ni, Cu, Cr, Co), $CaCO_3$ (Sr) и количеством илистой фракции (Ni, Fe, Mn, Co, Ti) в донных отложениях всех исследуемых акваторий.

Положения, выносимые на защиту:

1) Особенности пространственного распределения микроэлементов в донных отложениях исследуемых прибрежных акваторий Крыма определяются геохимическими характеристиками донных отложений: содержанием $C_{орг}$, $CaCO_3$, гранулометрическим составом.

2) Донные отложения бухт Севастопольского региона, как акватории с затрудненным водообменом с открытым морем, характеризуются превышением геохимического фона практически для всех исследуемых микроэлементов.

3) Донные отложения Феодосийского залива и Керченского пролива, как акватории с интенсивным водообменом, характеризуются пониженным содержанием практически всех исследуемых микроэлементов по сравнению с геохимическим фоном за исключением Zn, Ni, Cr.

4) Выделены группы микроэлементов в зависимости от геохимических характеристик донных отложений по значимости их коэффициентов корреляции:

– $C_{орг}$ определяет пространственные особенности распределения Zn, Ni, Cu, Cr, Co,

– $CaCO_3$ определяет географические особенности распределения Sr,

– илистая фракция и ее концентрация определяет географические особенности распределения Ni, Fe, Mn, Co, Ti в донных отложениях всех исследуемых акваторий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные в диссертации новые данные о содержании и пространственном распределении исследуемых микроэлементов расширяют современное представление о геохимическом составе донных отложений для акваторий с различной интенсивностью водообмена (бухты Севастопольского региона, Феодосийский залив, Керченский пролив).

В работе определены зоны с содержанием некоторых микроэлементов, превышающим геохимический фон.

Результаты диссертации могут быть использованы при проведении районирования прибрежных акваторий по уровню содержания микроэлементов в донных отложениях.

Карты пространственного расположения зон с повышенными концентрациями микроэлементов в донных отложениях могут быть использованы органами местного самоуправления при разработке программ по использованию рекреационного потенциала прибрежных зон Крыма.

Связь с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с научными планами и программами исследований Морского гидрофизического института НАН Украины (2005–2014 гг.) и Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» (2014–2021 гг.), а также КНП по приоритетным направлениям научно-технологического развития «Южный вектор национальной безопасности в условиях геополитических и климатических вызовов» (Соглашение №075–15–2024–528 от 24.04.2024 г.).

Личный вклад. Диссертантом совместно с научным руководителем определена актуальность исследования, сформулирована цель работы и обозначены основные задачи. Лично Котельянец Е.А. обобщены и проанализированы имеющиеся литературные данные о современном состоянии донных отложений мелководных акваторий Черного моря с учетом содержания в них основных осадкообразующих компонентов.

Основу диссертационной работы составили результаты, полученные при непосредственном участии автора в 12 экспедициях за период с 2003 по 2018 гг. В общей сложности, было отобрано и обработано более 1250 проб донных отложений, в которых было выполнено определение концентраций микроэлементов (As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn). При этом было выполнено 43 станции в Севастопольской бухте, 20 станций в Казачьей бухте, 48 станций в Балаклавской бухте, 20 станций в Феодосийском заливе и 21 станция в Керченском проливе.

Диссертантом освоены методики определения микроэлементов рентгенофлуоресцентным методом, определения органического углерода методом Тюрина по модификации Орлова (ДСТУ ISO 14235 2005; ДСТУ 4289: 2004). Неорганический углерод определялся весообъемным методом после разложения карбонатов пробы соляной кислотой. Гранулометрический состав донных отложений, был выполнен с помощью комбинированного ситового метода.

Интерпретация данных натурных измерений, а также выявление особенностей пространственного распределения исследуемых элементов в донных отложениях в прибрежных акваториях Крыма, отличающихся особенностью гидродинамического режима, обсуждение основных результатов, формулирование выводов и заключения работы проводились автором совместно с научным руководителем и соавторами научных статей.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность результатов проведенных исследований определяется тем, что

данные натурных наблюдений были получены с использованием методов и методик, являющихся общепринятыми в данной области науки путем анализа большого массива данных натурных наблюдений (станций – 167, элемент-определений – 2866). Отбор донных отложений проводился с помощью дночерпателя Петерсона или ДЧ-0,025 (площадь охвата 0,025 м²) в соответствии с требованиями нормативных документов и межгосударственного стандарта (ГОСТ, 1984; ISO, 2004).

Достоверность метода рентгенофлуоресцентного анализа, выполняемого на приборе «Спектроскан» МАКС-G, обеспечена результатами его тестирования в межлабораторных исследованиях МАГАТЭ 457 ILC, которое было организовано и проведено Международным агентством по атомной энергии. Расчет концентраций микроэлементов в пробах выполнялся с использованием стандартного программного обеспечения для спектрометра «Спектроскан» МАКС-G.

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

Публикации по теме диссертации. Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 10 работ в рецензируемых научных изданиях [1–10]. В их числе 5 работ [1, 6–9] в рецензируемых научных изданиях, входящих в наукометрические базы SCOPUS [1, 6–9] и Web of Science [8], 2 работы [3, 10] в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень изданий ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и 3 работы [2, 4, 5] в изданиях, соответствующих п. 10 Постановления Правительства Российской Федерации от 30 июля 2014 г. №-723 «Об особенностях присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий лицам, признанным гражданами Российской Федерации в связи с принятием в Российскую Федерацию Республики Крым и образованием в составе Российской Федерации новых субъектов – Республики Крым и города федерального значения Севастополя».

Апробация результатов диссертации. Основные результаты научно-квалификационной работы докладывались соискателем и обсуждались на 22 всеукраинских, российских и международных конференциях и семинарах.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю чл.-корр. РАН, д-ру геогр. наук С.К. Коновалову за помощь и ценные советы при подготовке работы. Автор, искренне признателен д. г. н. Е.Е. Совге (ФГБУН ФИЦ МГИ) за ценные рекомендации и переданный опыт в ходе подготовки и написания диссертационной работы., д.г.н. Е.И. Игнатову (МГУ), д. б. н., профессору Е.И. Голубевой (МГУ), академику РАН В.А. Иванову (ФГБУН ФИЦ МГИ), д. физ.-мат. н. К.Д. Сабинину (ИО РАН), Е.И. Овсяному (ФГБУН ФИЦ МГИ), д. г. н. Ю.Н. Горячкину (ФГБУН ФИЦ МГИ), к. ф.-м. н. Д.В. Алексееву (ФГБУН ФИЦ МГИ) за плодотворные дискуссии и поддержку на разных этапах выполнения работы. Автор благодарит

к. г. н. Л.В. Харитонову, А.С. Романова, к. г. н. К.И. Гурова (ФГБУН ФИЦ МГИ) за полезные консультации, сотрудничество и содействие в работе. Автор искренне благодарит всех сотрудников отдела гидрофизики шельфа (ФГБУН ФИЦ МГИ).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Объем работы составляет 192 страницы и содержит 20 таблиц, 43 рисунка и 1 приложение. Библиографический список включает в себя 166 наименований, в том числе 15 на английском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации, отмечается ее связь с исследовательскими программами, планами, темами, раскрывается сущность и состояние научной проблемы. Формулируются цель и задачи работы, определяется объект и предмет исследования, приводятся методы исследования. Выделяются научная новизна, описывается практическая значимость результатов. Приводится список научных семинаров и конференций, на которых были апробированы основные положения диссертации. Прилагаются сведения о научных публикациях соискателя. Дается краткое описание структуры и содержания диссертационной работы.

В **Разделе 1** дан обзор современного состояния изученности донных отложений (ДО) прибрежных акваторий Крыма с учетом влияния основных геохимических и географических особенностей формирования объектов исследования (Вериге, 1888; Зенкович, 1958, 1960; Митропольский и др., 1982; Миронов, 2003; Романов и др., 2007; Игнатьева и др., 2003, 2005, 2008; Копытов и др., 2010; Рябинин и др., 2007, 2011; Burgess et al., 2009; Кадошников и др., 2011).

В *подразделе 1.1* представлен обзор информации о географическом описании объектов исследования (бухты: Севастопольская, Балаклавская, Казачья, Феодосийский залив, Керченский пролив) (Иванов и др., 2006; Попов 2006; Овсяный и др., 2003, Шнюков 2003; Ломакин и др., 2013; Матишов и др., 2012, 2017). В *подразделе 1.2* анализируются литературные данные об особенностях состояния и геохимии основных осадкообразующих компонентов в ДО Черного моря (содержание карбонатов, органического углерода, гранулометрия). В *подразделе 1.3* проведен анализ современного распределения карбонатов в осадках Черного моря, в *подразделе 1.4* – распределения органического вещества. В *подразделе 1.5* приведен обзор данных о содержании микроэлементов в ДО шельфовой зоны Черного моря. Изучение особенностей накопления микроэлементов в донных отложениях всегда проводилось в комплексе с изучением основных геохимических характеристик ДО (Страхов, 1971; Глаголева, 1961; Митропольский и др., 1982). При этом важно отметить, что в отличие от мониторинга океанологических параметров вод, который выполняется регулярно, исследования донных отложений, как правило, проводятся эпизодически, и по этой причине ДО изучены фрагментарно. В *подразделе 1.6* рассмотрены современные методы нормирования содержания

микроэлементов в морских ДО, существующие проблемы в их реализации и перспективы их решения в России и зарубежье.

Показано, что, несмотря на большой интерес к изучению прибрежных районов Крыма, детальных исследований по анализу особенностей пространственного распределения и накопления As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn в донных отложениях в зависимости от их геохимических характеристик и интенсивности водообмена рассматриваемых прибрежных акваторий Крыма ранее не проводилось.

В **Разделе 2** приведена характеристика районов работ и схемы расположения станций отбора проб. Описаны методики, используемые в работе для получения данных о содержании геохимических характеристик ДО в прибрежных акваториях Крыма, и методика для оценки содержания и распределения микроэлементов в исследуемых объектах.

В *подразделе 2.1* представлены районы работ и объем полученных данных. В *подразделе 2.2* описан отбор проб морских донных отложений. В *подразделе 2.3* рассмотрен спектрофотометрический метод определения содержания органического углерода после окисления органического вещества пробы сульфохромной смесью (ДСТУ ISO 14235 2005; ДСТУ 4289:2004). В *подразделе 2.4* описана методика определения содержания карбоната кальция, с учетом методических рекомендаций (ДСТУ ISO 10693, 2001). В *подразделе 2.5* представлена методика определения гранулометрического состава морских ДО. В настоящей работе использовались данные гранулометрического анализа морских донных отложений, полученные методом декантации и рассеивания (ГОСТ 12536-2014) с рекомендациями (Петелин, 1967). В *подразделе 2.6* описана методика определения микроэлементов в донных отложениях методом РФА на приборе «Спектроскан МАКС-G». В данном исследовании микроэлементы (валовая форма) в донных отложениях определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС-G» НПО «СПЕКТРОН» (Россия). В работе было выполнено определение валового содержания As, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr (мг/кг) и оксидов металлов TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 в ДО. Всего было выполнено 2866 элемент-определений. Данная методика определения содержания элементов протестирована в межлабораторных исследованиях МАГАТЭ 457 ILC по определению содержания Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Sr, V, Zn в морских донных отложениях. В *подразделе 2.7* представлена методика расчета корреляционных характеристик. В большинстве литературных источников (Митропольский и др., 1982, Игнатьева и др., 2005, Шигабаева, Ахтырская, 2014) по анализу данных микроэлементов в природных объектах принято построение матриц парных корреляций с целью выявления наличия или отсутствия корреляций между содержаниями исследуемых микроэлементов и геохимическими характеристиками донных отложений. В работе для расчета корреляционных характеристик была построена матрица парных корреляций с использованием программы Statistika 6.0.

В **Разделе 3** выполнен анализ содержания и пространственного распределения микроэлементов As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn в донных отложениях прибрежных акваторий Крыма в период 2003–2018 гг.

(бухты Севастопольского региона, Феодосийский залив, Керченский пролив). Изучены особенности пространственного распределения микроэлементов. Ранее сравнительная оценка особенностей пространственного распределения и накопления исследуемых микроэлементов по данным, полученным в рамках единой методики, в рассматриваемых пяти прибрежных районах Крыма, отличающихся своими геохимическими и гидрологическими характеристиками, не проводилась.

В *подразделе 3.1* представлено описание районов исследования. В *подразделе 3.2* анализируются особенности пространственного распределения микроэлементов в ДО мелководных акваторий с затрудненным водообменном на примере Севастопольской бухты (Рисунок 1). Выделены группы микроэлементов, различающихся особенностями пространственного распределения. Первая группа включает в себя Pb, Zn, Cu, Cr, Co, As и V и характеризуется максимальными концентрациями в ДО Южной бухты и на выходе из нее. Вторая группа включает Ni, Ti, Mn, Fe, распределение которых характеризовалось локальными неоднородностями в донных отложениях исследуемой акватории бухты. Третья группа включает Sr, распределение которого характеризовалось максимумами в кутовой части Южной бухты, в центральной части бухты и на выходе из нее (Рисунок 1) [2, 10].

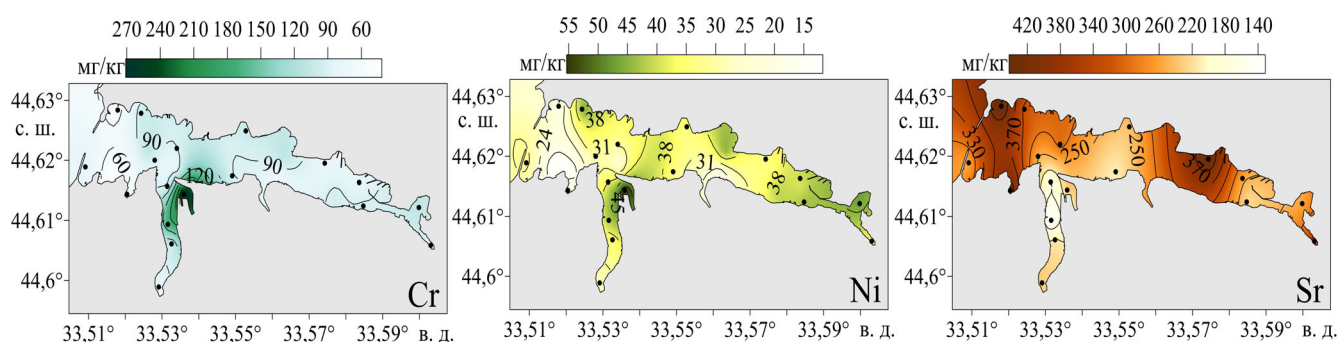


Рисунок 1 – Пространственное распределение Cr, Ni, Sr в донных отложениях Севастопольской бухты

В *подразделе 3.3* рассмотрено пространственное распределение микроэлементов в донных отложениях Казачьей бухты. По особенностям пространственного распределения микроэлементов выделены три группы элементов (Рисунок 2). К первой группе были отнесены Fe, Sr, As, максимальные концентрации которых были определены в донных отложениях в кутовых частях бухты и в ее центральной части. Ко второй группе относятся Ti, Ni, V, Cu, Zn, Cr, Co, Pb максимальные концентрации, которых определены в донных отложениях в районе восточного рукава и причала судов. Третья группа включает Mn, распределение которого характеризовалось локальными неоднородностями в донных отложениях по исследуемой акватории бухты [10]. По всей акватории Казачьей бухты происходит перераспределение концентраций исследуемых микроэлементов в ДО, обусловленное изменением гидродинамического режима и геохимическими характеристиками донных отложений исследуемой акватории.

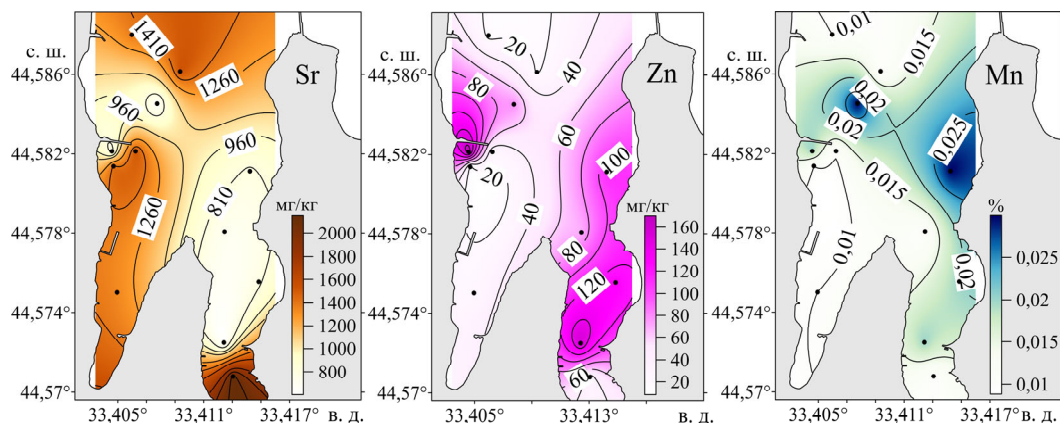


Рисунок 2 – Пространственное распределение Sr, Zn, Mn в донных отложениях бухты Казачья

В подразделе 3.4 рассмотрены особенности пространственного распределения исследуемых микроэлементов в донных отложениях Балаклавской бухты (Рисунок 3). Первая группа включает себя Zn, Co, Cr, Fe и характеризуется максимальными концентрациями в донных отложениях в центральной и кутовой частях бухты. Вторая группа включает V, Ti, Mn, As, максимальные концентрации которых наблюдаются в донных отложениях в прибрежной части западного берега бухты. Третья группа включает Pb, Ni, Sr и характеризуется локальной неоднородностью максимальных концентраций в донных отложениях. Установлено, что для ряда микроэлементов, таких как Fe, Cr, Cu, Pb и Zn, максимальные концентрации отмечаются в кутовой северо-восточной части бухты, а также в южной части северного бассейна. Mn и V накапливаются у западного берега северного бассейна. Повышенное содержание Co и Ni наблюдается у восточного берега в центральной части северного бассейна, а Sr – в ДО южного бассейна и на выходе из бухты.

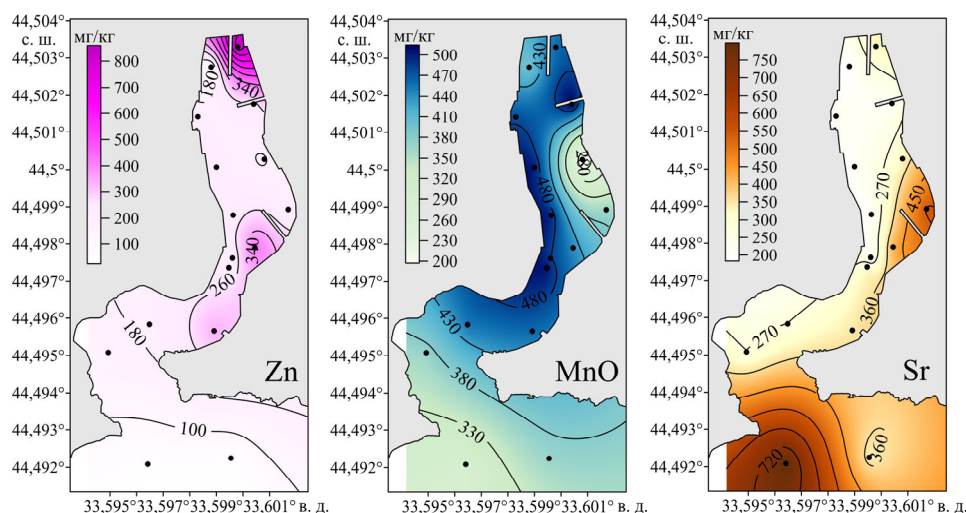


Рисунок 3 – Пространственное распределение Zn, Mn, Sr в донных отложениях Балаклавской бухты

Показано, что на распределение исследуемых микроэлементов и их накопление в донных осадках акваторий Севастопольского региона влияют условия формирования последних: гидродинамика акватории, физико-

химические и биологические процессы, протекающие в водной толще и в ДО, а также локализация источников загрязнения [1, 10]. Из таблицы 1 следует, что по величинам концентраций приведенных микроэлементов более загрязненными можно считать донные отложения Севастопольской бухты, за исключением стронция, максимальные величины содержания которого отмечены в ДО бухт Казачья и Балаклавская.

Таблица 1 – Уровни превышения геохимического фона для исследуемых микроэлементов в донных отложениях акваторий Севастопольского региона

	Zn, мг/кг min-max	Ni, мг/кг min-max	Cr, мг/кг min-max	Pb, мг/кг min-max	Sr, мг/кг min-max
Севастопольская бухта	46–579	20–63	47–122	10–500	113–617
Казачья бухта	16–171	5–47	45–105	6–20	598–2152
Балаклавская бухта	29–870	15–95	42–125	16–504	117–1214
Среднее содержание в ДО шельфа Черного моря (Митропольский и др., 1981; Емельянов и др., 2004)	48	42	45	16	180

В *подразделе 3.5* рассмотрены особенности пространственного распределения микроэлементов в донных отложениях Феодосийского залива (Рисунок 4). Особенности распределения Zn, Ni, Cr, Sr, V позволяют предположить, что Феодосийская промышленно-коммунальная агломерация оказывает существенное влияние на содержание и распределение исследуемых загрязняющих веществ в донных осадках залива. Об этом свидетельствует высокие концентрации представленных элементов, которые были определены в акватории порта.

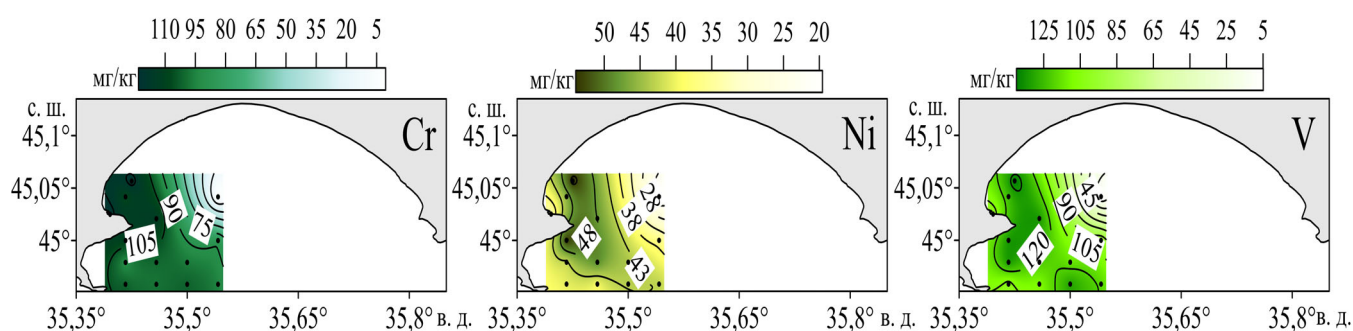


Рисунок 4 – Пространственное распределение Cr, Ni, V в донных отложениях Феодосийского залива

В *подразделе 3.6* рассмотрены особенности пространственного распределения микроэлементов в донных отложениях Керченского пролива (Рисунок 5). Первая группа включает в себя Zn, Cr, Ni, V, Ti, Fe, Mn и характеризуется минимальными величинами концентраций вдоль осевой части Керченского пролива и повышенными величинами концентраций в прибрежной его части. Вторая группа включает Sr, пространственное распределение которого имеет обратную зависимость: максимальные концентрации наблюдались вдоль осевой части пролива, а минимальные – ближе береговым линиям. Третья группа

включает Co и Cu. Распределение этих микроэлементов характеризовалось наличием локальных неоднородностей. При этом локальные максимумы наблюдались в донных отложениях, как в мористой части, так и в прибрежных районах пролива и районе фарватера [3].

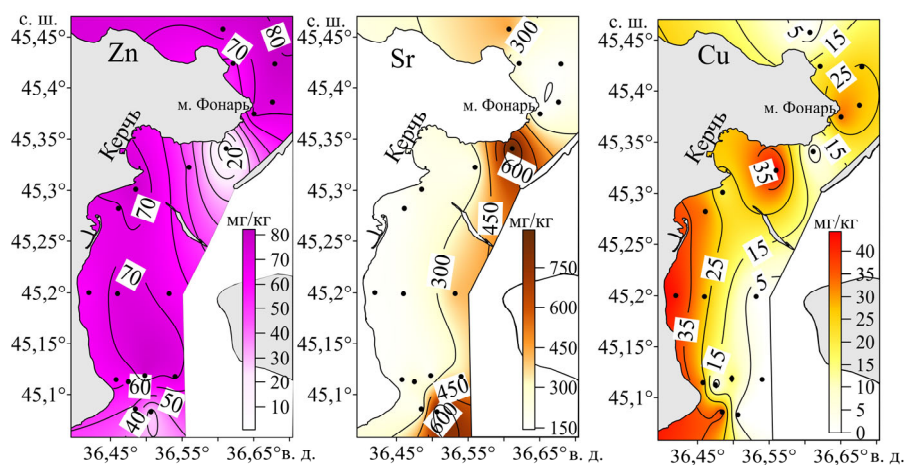


Рисунок 5 – Пространственное распределение Zn, Sr, Cu в донных отложениях Керченского пролива

Анализ пространственного распределения микроэлементов в донных отложениях мелководных акваторий Крыма показал, что превышение геохимического фона (Митропольский и др. 1981, Емельянов и др., 2004) наблюдается по всем акваториям Севастопольского региона с затрудненным водообменом (Таблица 1). Для акваторий с интенсивным водообменом на примере (Феодосийского залива и Керченского пролива) превышение геохимического фона не наблюдается, за исключением таких элементов как Zn, Ni, Cr (Таблица 2).

Таблица 2 – Уровни превышения геохимического фона для исследуемых микроэлементов в донных отложениях Феодосийского залива и Керченского пролива

	Zn, мг/кг min-max	Ni, мг/кг min-max	Cr, мг/кг min-max
Феодосийский залив	50–412	25–80	87–124
Керченский пролив	25–80	10–50	43–147
Среднее содержание в ДО шельфа Черного моря (Митропольский и др. 1981; Емельянов и др., 2004)	48	42	45

В разделе 4 изучены геохимические характеристики донных отложений прибрежных акваторий Крыма и их влияние на процесс накопления микроэлементов. Рассмотрены геохимические компоненты донных отложений для оценки процессов накопления исследуемых микроэлементов (As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn) в прибрежных акваториях Крыма на основе анализа экспериментальных данных.

В *подразделе 4.1* изучены геохимические характеристики донных отложений в мелководных акваториях с затрудненным водообменом на примере бухт Севастопольского региона. В *подразделе 4.2* представлены геохимические характеристики донных отложений Севастопольской бухты. В качестве примера на Рисунке (6) выделены группы микроэлементов в зависимости от геохимических характеристик донных отложений. По результатам корреляционного анализа было показано, что в акватории Севастопольской бухты распределение повышенных концентраций Zn, Pb, Cu, Co и Fe связано с распространением донных осадков с повышенным содержанием органического углерода.

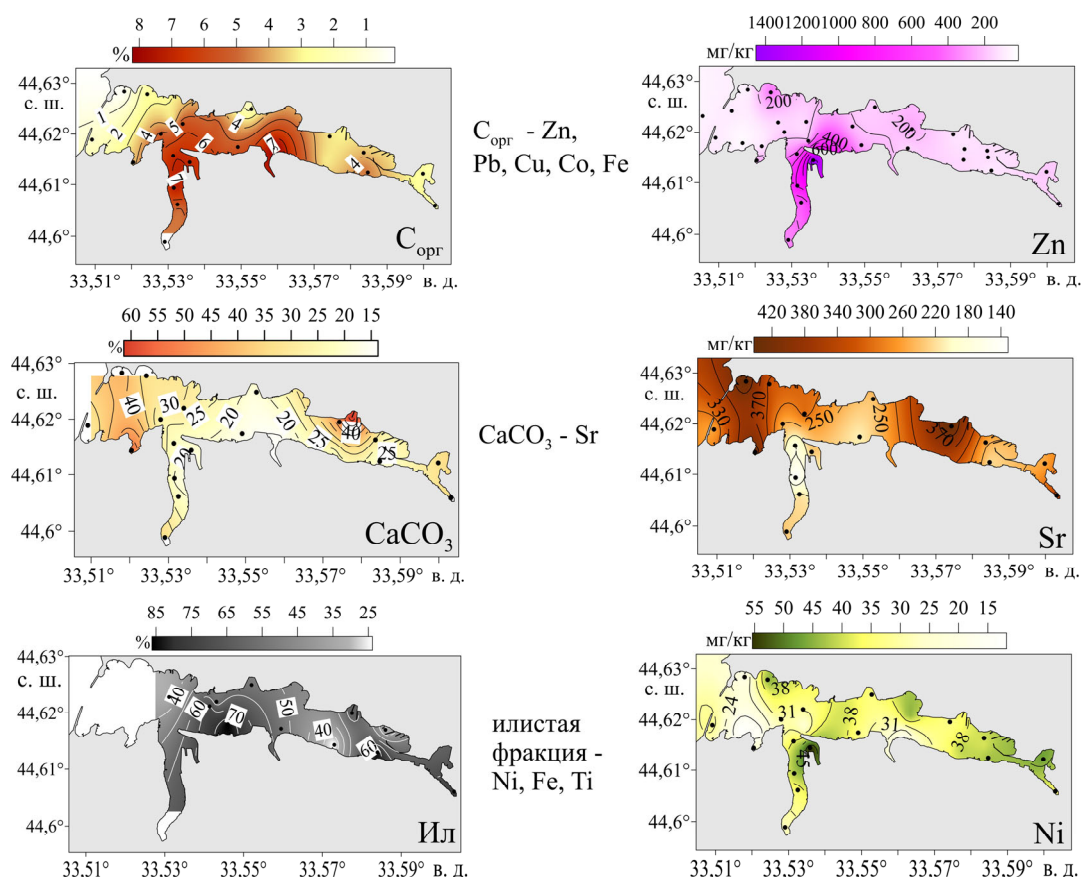


Рисунок 6 – Пространственное распределение Zn, Sr, Ni в донных отложениях Севастопольской бухты в зависимости от содержания в них C_{org} , $CaCO_3$ и илистой фракции

В *подразделе 4.3* приведен анализ геохимических характеристик ДО Казачьей бухты и их влияния на процесс накопления микроэлементов (Рисунок 7). Особенности пространственного распределения микроэлементов в донных отложениях Казачьей бухты позволили выделить группы микроэлементов в зависимости от их геохимических характеристик. Zn, Ni, Sr имели идентичный характер пространственного распределения в поверхностном слое осадков бухты и высокие значения коэффициентов корреляции с тонкодисперсной фракцией и органическим веществом. При анализе пространственного распределения Ni в ДО Казачьей бухты четко проявляется его корреляция с органическим углеродом и пелитовой фракцией (Рисунок 7). По

данным (Митропольского и др., 1982) в морской воде никель сорбируется на глинистых тонких частицах и органическом детрите.

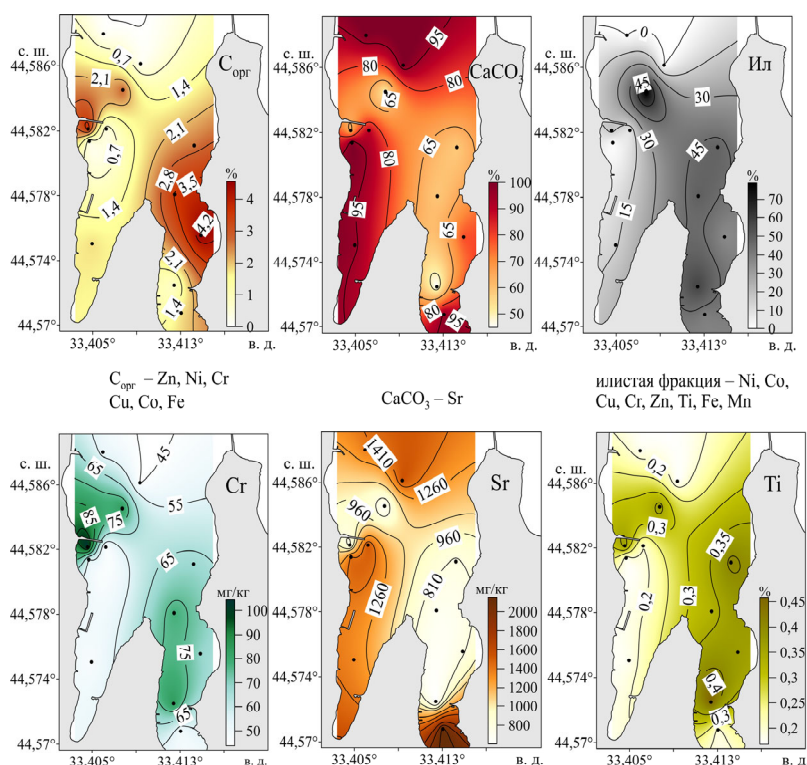


Рисунок 7 – Пространственное распределение хрома, стронция, титана в донных отложениях Казачьей бухты в зависимости от содержания в них $C_{\text{орг}}$, CaCO_3 и илистой фракции

Подраздел 4.4 посвящен результатам проведенных исследований в акватории Балаклавской бухты. Выделены группы микроэлементов, уровень накопления которых зависел от геохимических характеристик ДО ($C_{\text{орг}}$, CaCO_3 и гранулометрического состава) (Рисунок 8). Для большинства исследуемых элементов характерно весьма неравномерное распределение концентраций в ДО по площади акватории. Такая особенность распределения обусловлена рядом факторов – локализацией и характером источников загрязнения, а также динамикой вод (ограниченный водообмен), геохимическими свойствами донных отложений.

Отмечено, что высокая величина корреляционных связей с $C_{\text{орг}}$ и илистой фракцией в ДО Севастопольской бухты, Казачьей бухты и Балаклавской бухты наблюдается для Ni (Таблица 3). Для акваторий с затрудненным водообменом (бухты Севастопольского региона) площадь и доля донных отложений с высоким содержанием илистой фракции и органического углерода больше, чем в Феодосийском заливе и Керченском проливе [7, 10].

В подразделе 4.5 по рассчитанным коэффициентам корреляции в донных отложениях Феодосийского залива выделены элементы, которые коррелируют с содержанием $C_{\text{орг}}$ (Рисунок 9). Для Феодосийского залива как акватории с интенсивным водообменом выделены микроэлементы, которые проявили наличие статистически значимой корреляции с содержанием органического углерода и илистой фракции. К ним относятся Zn, Cr.

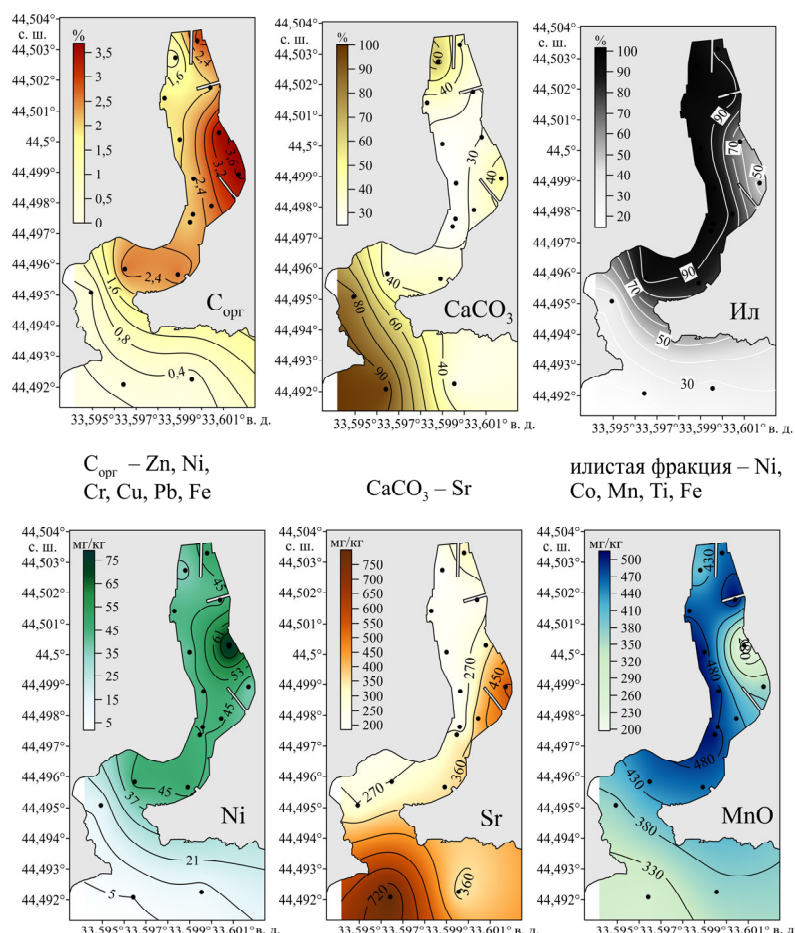


Рисунок 8 – Пространственное распределение Ni, Sr, Mn в донных отложениях Балаклавской бухты в зависимости от содержания в них $C_{\text{орг}}$, CaCO_3 и илистой фракции

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции некоторых исследуемых микроэлементов с содержанием в донных отложениях $C_{\text{орг}}$ и илистой фракции

Элемент	Севастопольская бухта		Казачья бухта		Балаклавская бухта	
	$C_{\text{орг}}$	ИЛ	$C_{\text{орг}}$	ИЛ	$C_{\text{орг}}$	ИЛ
Zn	0,8	0,2	0,6	0,5	0,8	0,2
Ni	0,6	0,6	1	0,8	0,8	0,9
Cr	0,6	0,3	0,7	0,6	0,3	0,7
Cu	0,8	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8
Co	0,6	0,4	0,6	0,7	0,5	0,8
Mn	0,3	0,7	0,5	0,8	0,2	0,7
Fe	0,7	0,8	0,6	0,6	0,3	0,8

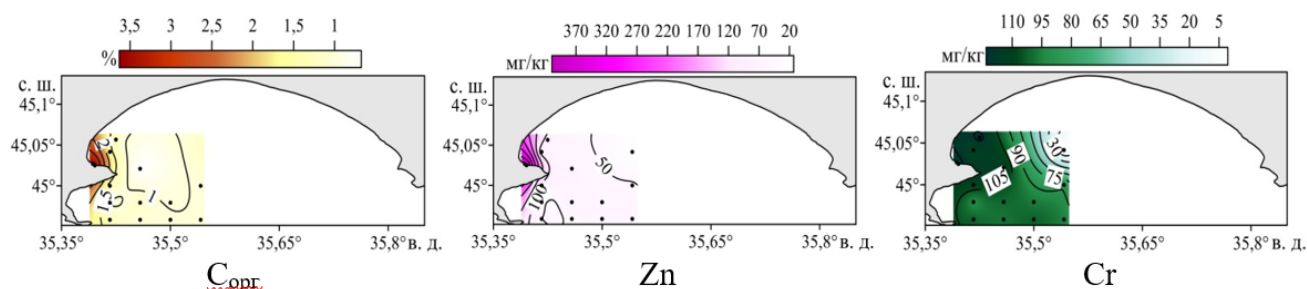


Рисунок 9 – Пространственное распределение Zn, Cr в донных отложениях Феодосийского залива в зависимости от содержания в них $C_{\text{орг}}$

В подразделе 4.6 выделены микроэлементы, которые проявили наличие статистически значимой корреляции с содержанием органического углерода. К ним относятся Zn, Ni, Cr. Их распределения в зависимости от содержания органического углерода в донных отложениях Керченского пролива представлены на Рисунке 10. Распределение Zn, Ni, Cr в акватории пролива соответствует распределению органического вещества с образованием максимумов в предпроливной зоне Азовского моря и в прибрежной части пролива, а тесная связь содержания органического вещества с исследуемыми элементами подтверждается высокими значениями их коэффициентов корреляции. Что способствует накоплению и удержанию этих загрязняющих веществ в донных отложениях Керченского пролива.

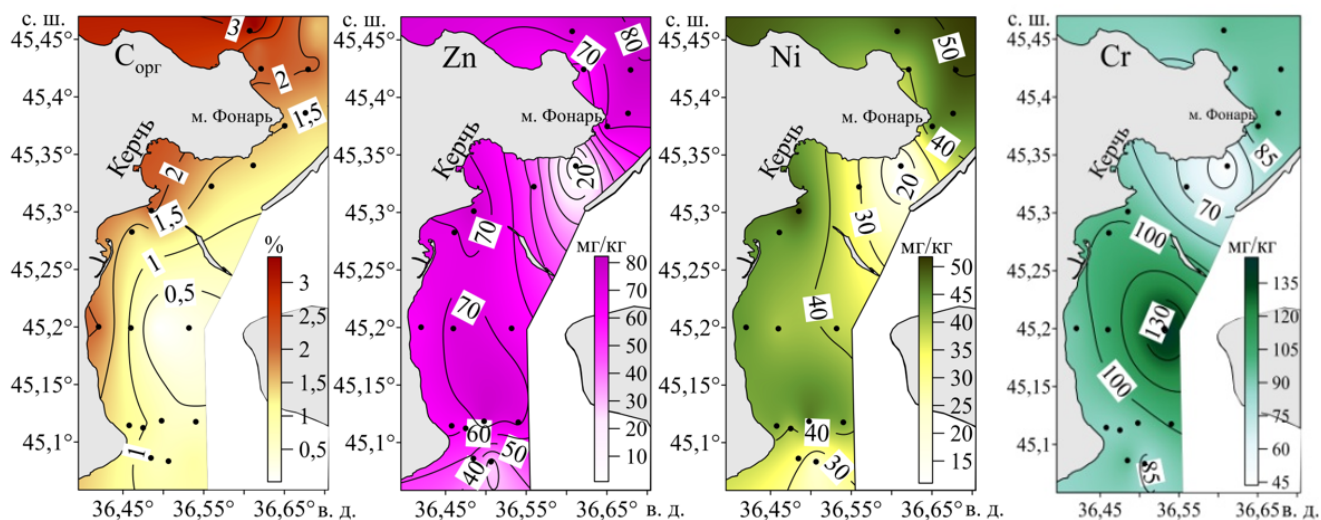


Рисунок 10 – Пространственные распределения Zn, Ni, Cr в донных отложениях Керченского пролива в зависимости от содержания в них $C_{орг}$

Показано, что влияние гидродинамического режима (Феодосийский залив, Керченский пролив) способствуют формированию определенной пространственной неоднородности распределения фракционного состава донных отложений, которая сказывается на уровне накопления данных микроэлементов (Таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции некоторых исследуемых микроэлементов с содержанием в донных отложениях $C_{орг}$ и илистой фракции

Элемент	Феодосийский залив		Керченский пролив	
	$C_{орг}$	ил	$C_{орг}$	ил
Zn	0,9	0,6	0,7	—
Ni	0,5	0,7	0,7	0,6
Cr	0,3	0,7	0,8	0,8

В подразделе 4.7 выделены группы микроэлементов в зависимости от коэффициентов корреляции R с геохимическими характеристиками ДО отложений (содержание $C_{орг}$, $CaCO_3$ и гранулометрический состав) во всех

исследуемых акваториях (бухты Севастопольского региона, Феодосийский залив, Керченский пролив).

Первая группа – $C_{\text{орг}}$ – Zn, Ni, Cr ($R \geq 0,7$).

Вторая группа – $CaCO_3$ – Sr ($R \geq 0,7$).

Третья группа – количество илистой фракции донных отложений – Ti, Ni, Co, Fe, Mn ($R \geq 0,8$).

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

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Диссертационная работа посвящена комплексному исследованию донных отложений прибрежных акваторий Крыма (Севастопольская бухта, Казачья бухта, Балаклавская бухта, Феодосийский залив, Керченский пролив).

Объектами исследования в диссертационной работе были ДО мелководных акваторий Крыма с затрудненным водообменом на примере бухт Севастопольского региона (Севастопольской, Казачьей, Балаклавской), с интенсивным водообменом с открытым морем (Феодосийский залив, Керченский пролив). На основе большого массива полученных автором диссертации натуральных данных осуществлен анализ особенностей пространственного распределения и накопления микроэлементов в ДО прибрежных акваторий Крыма в зависимости от их геохимических характеристик, гранулометрического состава и гидродинамического режима исследуемых акваторий. Основные научные результаты диссертационной работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Проведенный в работе обзор литературных данных позволил не только оценить современное состояние изученности ДО исследуемых мелководных акваторий Черного моря с учетом содержания в них основных осадкообразующих компонентов, но и определить не решенные к настоящему времени проблемы, возникающие при их исследовании. Показано, что для ДО этих объектов практически отсутствовали оценки связей пространственного распределения микроэлементов с их геохимическими характеристиками с учетом различий в гидродинамическом режиме акваторий.

2. Впервые для исследуемых акваторий с применением современного метода рентгенофлуоресцентного анализа изучены особенности пространственного распределения и накопления микроэлементов As, Ti, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn в ДО исследуемых прибрежных акваторий Крыма.

3. Показаны особенности пространственного распределения и накопления микроэлементов в донных отложениях исследуемых прибрежных акваторий: Севастопольской бухты – превышение геохимического фона (Zn, Ni, Cr, Pb, Fe, V, As, Sr); Казачьей бухты – превышение геохимического фона (Zn, Cr, Co, Sr, As); Балаклавской бухты – превышение геохимического фона (Zn, Cr, Pb, As, Sr); Феодосийского залива – анализ пространственного распределения показал пониженные содержания некоторых исследуемых микроэлементов, а превышение геохимического фона в ДО залива отмечено только для Zn, Cr; Керченского пролива – различия в пространственном распределении

микроэлементов в осевой части пролива и его прибрежной зоны, наблюдаются пониженные содержания всех микроэлементов (ниже геохимического фона) в ДО пролива, а превышение геохимического фона в проливе отмечено только для Zn, Ni, Cr.

4. В результате корреляционного анализа для ДО исследуемых акваторий как с затрудненным, так и с интенсивным водообменом (бухты Севастопольского региона, Феодосийский залив, Керченский пролив) выделены группы микроэлементов, уровень накопления которых зависит от геохимических характеристик донных отложений (содержания $C_{орг}$, $CaCO_3$ и гранулометрического состава: первая группа – $C_{орг}$ – Zn, Ni, Cr ($R \geq 0,7$); вторая группа – $CaCO_3$ – Sr ($R \geq 0,7$); третья группа – количество илистой фракции ДО – Ti, Ni, Co, Fe, Mn ($R \geq 0,8$).

5. Осуществлен анализ корреляционных связей геохимических характеристик донных отложений (содержание $C_{орг}$, $CaCO_3$, илистой фракции) с содержанием конкретных микроэлементов:

- значимые коэффициенты корреляций содержания Zn, Ni, Cr, Cu с органическим веществом ($C_{орг}$) связаны со способностью образовывать стойкие соединения с органическими лигандами как в акваториях с интенсивным водообменом, так и в акваториях с затрудненным водообменом;

- высокие значения коэффициентов корреляций содержания Sr с карбонатом кальция ($CaCO_3$) в донных отложениях связаны со способностью двухвалентного Sr заменять кальций в кристаллической решетке $CaCO_3$ вне зависимости от его генезиса;

- высокие значения коэффициентов корреляций содержания Mn и Fe с тонкодисперсным материалом (ил) в донных отложениях можно объяснить их способностью образовывать в окислительных условиях собственную мелкодисперсную взвесь в виде MnO_2 и Fe_2O_3 .

ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ РАБОТЫ

1. Овсяный Е.И., **Котельянец Е.А.**, Орехова Н.А. Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море). // Морской гидрофизический журнал. – 2009. – № 4. – С. 67–80.

(Перевод: Ovsyany E.I., Orekhova N. A., Kotelyanets E. A. Arsenic and heavy metals in the bottom sediments of the Balaklava Bay (Black Sea) // Physical Oceanography. – 2009. – Vol. 19, No. 4. – P. 254-266. – DOI: 10.1007/s11110-009-9048-4.)

2. Овсяный Е.И., **Котельянец Е.А.** Особенности распределения мышьяка и тяжелых металлов в толще осадков Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2010. – № 22. – С. 296-302.

3. Овсяный Е.И., Коновалов С.К., Митропольский А.Ю. **Котельянец Е.А.** Органический углерод и карбонатность современных донных отложений Керченского пролива // Геохимия. – 2015. – 12. – С. 1120–1131. – DOI: 10.7868/S0016752515120079.

(Перевод: Ovsyanyi E.I., Konovalov S.K., **Kotel'yanets E.A.**, Mitropol'skii A.Y. Organic Carbon and Carbonates in the Recent Bottom Sediments of the Kerch Strait // Geochemistry International. – 2015. – Vol. 53, No. 12. – P. 1123–1133. – DOI: 10.1134/S0016702915120071.)

4. Коновалов С.К., **Котельянец Е.А.** Тяжелые металлы в донных отложениях Керченского пролива // Морской гидрофизический журнал. – 2012. – № 4. – С. 50-60.

5. **Котельянец Е.А.**, Овсяный Е.И., Орехова Н.А., Коновалов С.К. Влияние геохимических характеристик донных отложений шельфовой зоны Украины на распределение тяжелых металлов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2013. – № 27. – С. 312-317.

6. **Котельянец Е.А.**, Гуров К.И. Влияние физико-химических характеристик донных отложений на распределение микроэлементов в прибрежных акваториях Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2020. – № 4. – С. 117-129. – DOI: 10.22449/2413-5577-2020-4-117-129.

(Перевод: Kotelyanets E.A., Gurov K.I. Influence of Bottom Sediments Physicochemical Characteristics on Distribution of Microelements in the Crimean Shelf Water Areas // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. – 2020. – No. 4. – P. 117–129. – DOI: 10.22449/2413-5577-2020-4-117-129.)

7. **Котельянец Е.А.** Особенности накопления макро и микроэлементов в донных отложениях прибрежных акваторий Крыма (Черное море) с различной интенсивностью водообмена по данным РФА // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2021. – № 2. – С. 106-120. – DOI: 10.22449/2413-5577-2021-2-106-120.

(Перевод: **Kotelyanets, E.A.** Peculiarities of Macro- and Microelement Accumulation in Bottom Sediments of the Crimean Coastal Water Areas (the Black

Sea) with Different Water Exchange Intensity based on XRF Data // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. – 2021. – No. 2. – P. 106–120)

8. Гуров К.И., Котельянец Е.А. Распределение Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Sr, Ti, Mn, Fe в донных отложениях Севастопольской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. – 2022. – Т. 38, № 5 (227). – С. 512-529. – DOI: 10.22449/0233-7584-2022-5-512-529.

(Перевод: Gurov K.I., **Kotelyanets E.A.** Distribution of Trace Metals (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Sr, Ti, Mn and Fe) in the Vertical Section of Bottom Sediments in the Sevastopol Bay (Black Sea) // Physical Oceanography. – 2022. – Vol. 29, No. 5. – P. 491-507. – DOI: 10.22449/1573-160X-2022-5-491-507.)

9. Совга Е.Е., **Котельянец Е.А.** Влияние содержания органического вещества в донных отложениях акваторий Крыма с интенсивным водообменом на накопление цинка, хрома и никеля // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря – 2023. – № 1. – С. 65-76. – DOI: 10.29039/2413-5577-2023-1-65-76.

(Перевод: Sovga E.E., **Kotelyanets E.A.** Influence of Organic Matter Content in Bottom Sediments in Crimean Water Areas with Intensive Water Exchange on Zinc, Chromium, and Nickel Accumulation // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea, – 2023, – No. 1, – P. 65-76. – DOI: 10.29039/2413-5577-2023-1-65-76.)

10. **Котельянец Е.А.**, Совга Е.Е., Коновалов С.К. Пространственное распределение тяжелых металлов в донных отложениях бухт Севастопольского региона // Вестник Московского университета. Серия 5: география. – 2024. – Т. 79, № 4. – С. 68-79. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.4.6.

(Перевод: **Kotelyanets E.A.**, Sovga E.E., Kononov S.K. Spatial distribution of heavy metals in the bottom sediments of bays of the Sevastopol Region // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya. – 2024.)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук
Котельянец Екатерины Александровны

Подписано к печати 06.12.2024 г. Формат бумаги 60×84 1/16
Объем 0,9 п.л. Заказ № 151 Тираж 100 экз.

Напечатано в типографии СРОО «Дом Солнца»
299055, г. Севастополь, ул. Хрусталева, 143
Тел.: +7(8692) 65-60-11
cdpi@rambler.ru