502.7
Г35

В.А. Емельянов, А.Ю. Митропольский, Е.И. Наседкин,
А.А. Пасынков, Ю.Д. Степаняк, Е.Е. Шнюкова

ГЕОЭКОЛОГИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

В.А. Емельянов, А.Ю. Митропольский, Е.И. Наседкин,
А.А. Пасынков, Ю.Д. Степаняк, Е.Е. Шнюкова

ГЕОЭКОЛОГИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

КИЕВ
« АКАДЕМПЕРИОДИКА »
2004

502.7
-35

УДК [504:551.462.32] (262,5 + 477)
ББК 28.823 (4Укр)
Г 367

Геоэкология черноморского шельфа Украины / В.А. Емельянов, А.Ю. Митропольский, Е.И. Наседкин, и др. – К.: Академпериодика, 2004. – 296 с.; 12 илл.

В монографии, на основе изложенных концепций, подходов и понятий морской геоэкологии, описанных методов и обобщения полученного базового материала, освещены условия формирования, компонентная структура, экологическое состояние морской геоэкосистемы (МГЭС) донных отложений черноморского шельфа Украины, как подсистемы экологической системы Черного моря. Рассмотрены антропогенные изменения компонентной подсистемы, современное состояние и причины нарушений МГЭС, даны рекомендации по ее охране и защите. Предложена схема районирования геоэкосистемы рассматриваемого региона.
Рассчитана на специалистов: морских геологов, геоэкологов, а также на аспирантов, студентов и лиц, принимающих решения относительно освоения морских акваторий и приморских территорий.

У монографії, на засадах викладених концепцій, підходів і понять морської геоекології, а також методів і узагальнення отриманого базового матеріалу, висвітлено умови формування, компонентну структуру, екологічний стан морської геоекосистеми (МГЕС) донних відкладів чорноморського шельфу України, як підсистеми екологічної системи Чорного моря. Розглянуто сучасний стан і причини порушень, антропогенні зміни компонентної підсистеми МГЕС, дано рекомендації щодо її охорони та захисту. Запропоновано схему районування геоекосистеми регіону, що розглядається.
Розраховано на фахівців: морських геологів, геоекологів, а також на аспірантів, студентів та осіб, які приймають рішення щодо освоєння морських акваторій та прибережних територій.

In this monograph, on the basis of the stated conceptions, approaches and notions of marine geoecology, described methods and generalization of the received base material are elucidated the conditions of formation, a component structure, an ecological state of marine geoecosystem (MGES) of the bottom deposits of Ukrainian part of the Black Sea shelf as a subsystem of ecological system of the Black Sea in general. Anthropogenic changes of a component subsystem, modern state and the reasons of MGES breaches are considered and some recommendations how to protect and to guard it are also given. A scheme of division into districts of geoecosystem of a considered region is proposed.
The monograph is intended for marine geologists, geoecologists, post-graduate students, students and for persons who make decisions relatively to marine defined area of coast- and seaside territories mastering.

Рецензенты:
чл.-кор. НАН Украины Жовинский Э.Я.
(Ин-т геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины),
д-р геол.-минер. наук, проф. Ларченков Е.П.
(Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова)

ISBN 966-360-000-4

© В.А. Емельянов, А.Ю. Митропольский,
Е.И. Наседкин, А.А. Пасынков,
Ю.Д. Степаняк, Е.Е. Шнюкова, 2004
© Академпериодика, 2004

656919

Введение

Черное море – наиболее изолированное от Мирового океана море планеты с водосборным бассейном свыше 2 млн км^2. Территориальные воды Украины в Черном море составляют 24850 км^2, а площадь шельфа – около 57 % от общей площади Черноморского шельфа. В границах Украины находятся 14 основных лиманов и эстуариев общей площадью 1952 км^2, 8 заливов площадью 1770 км^2, 19 приморских водно-болотных угодий общей площадью 6350 км^2.

Неудовлетворительное экологическое состояние Черного моря обусловлено многократным превышением объема поступления загрязняющих веществ над ассимилирующей способностью морских экосистем, что привело к бурному развитию эвтрофикационных процессов, значительному загрязнению (в т. ч. микробиологическому) морских вод, потере биологических видов, сокращению объема рыбных ресурсов, снижению качества рекреационных ресурсов, возникновению угрозы здоровью населения. Основными источниками загрязнения являются стоки рек, сточные воды из точечных и диффузных береговых источников, морские транспортные средства и портовые сооружения. Особенно опасны для экосистем моря расположенные в прибрежной полосе точечные источники загрязнения, связанные с функционированием промышленно-городских агломераций (ПГА), предприятий промышленности и коммунально-бытового хозяйства. Последними ежегодно сбрасываются в воды Черного моря, в т: взвешенных веществ – свыше $33{,}8\times10^3$, азота – $8{,}8\times10^3$, фосфора – $2{,}6\times10^3$, нефтепродуктов – $24{,}1\times10^3$. Дефицит пропускной возможности коммунальных очистительных сооружений биологической очистки только в городах и селах Автономной Республики Крым, в городах Николаев, Одесса и Севастополь составляет более 273×10^3 м^3/сут. В системе централизованного водоотвода населенных пунктов этого региона почти 25 % канализационных сетей находятся в аварийном состоянии.

Существенным фактором загрязнения Черного моря являются диффузные источники. В основном смыв происходит с площадей сельскохозяйственных угодий и с территорий населенных пунктов. Каждый год с водами рек Украины в Черное море поступает, в т: взвешенных веществ – около 653×10^3, органических веществ – свыше 8×10^3 , азота – почти 1900 и фосфора – 1200. Со стоками малых рек в бассейн Черного моря выносится, в %: около 11,6 – не усвоенных азотных удобрений, 13 – фосфорных удобрений и 6 – пестицидов. Существенное влияние оказывают на состояние шельфовой экосистемы малые реки Причерноморья и Крыма.

С активизацией национального и международного судоходства возрастает риск загрязнения морской среды, особенно во время штормов и половодья на реках. Отсутствие достаточного количества надлежащих портовых сооружений для складирования и обработки экологически опасных грузов, а также недостаточная обеспеченность морских транспортных средств системами очистки бытовых стоков и утилизации твердых отходов приводят к значительному загрязнению морской акватории и акваторий портов.

Неудовлетворительное материальное обеспечение служб быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации, отсутствие системы надзора за транспортированием опасных грузов морскими транспортными средствами требуют разработки эффективных мер по предупреждению возникновения аварийных ситуаций и создания систем быстрого реагирования на них как на национальном, так и на международном уровнях.

В границах водоохранной зоны Черного моря и впадающих в него крупных и малых рек накоплено значительное количество твердых бытовых и промышленных отходов. Технологическое несовершенство обустройства свалок вызывает загрязнение поверхностных и подземных вод, создает угрозу ухудшения санитарно-эпидемиологического состояния и состояния здоровья населения, проживающего в бассейне Черного моря, деградацию его рекреационных ресурсов.

Значительная антропогенная нагрузка в летний период на некоторых участках рекреационных зон приводит к нарушению естественного состояния приморских территорий, в первую очередь пляжей, прибрежных акваторий, снижению их рекреационно-оздоровительного потенциала.

Перемещения больших объемов донных отложений во время осуществления дноуглубительных и дноочистительных работ в морских акваториях и судоходных каналах приводит к дег-

радации донных биоценозов, загрязнению морской среды взвешенными и токсичными веществами. Ежегодно в районах подводных морских свалок сбрасываются миллионы метров кубических грунта. Несбалансированность хозяйственной деятельности привела к уменьшению кормовой базы, количества нерестилищ, мест обитания и существования рыб и других гидробионтов. Нерациональная добыча рыбы и морепродуктов, неудовлетворительное выполнение мероприятий, направленных на их воспроизведение, привели к уменьшению темпов их воспроизводства и к обеднению видового состава. Ситуацию усложняет появление в экосистеме Черного моря вредных экзотических организмов, которые замедляют развитие и воспроизведение местных флоры и фауны.

Основными загрязнителями морской среды являются нефтепродукты, в особенности в границах акваторий портов. Так, в Одесском, Ильичевском и Керченском портах содержание нефтепродуктов в воде превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 1,5–2 раза. Наиболее загрязнены нефтепродуктами севастопольские бухты, которые в значительной мере связаны с деятельностью Черноморского флота Российской Федерации. В последние годы в бухтах Южная, Камышовая, Голландия, Карантинная и Северная содержание нефтепродуктов в поверхностных слоях моря превышает ПДК в среднем в 3 – 10 раз. Загрязнения прибрежных районов Черного моря синтетическими поверхностно-активными веществами (ПАВ) в зоне влияния муниципальных очистительных сооружений превышает ПДК в 2 – 3 раза. Наблюдаются повышения содержаний хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов в весенний период на устьевых участках рек.

Имеют место значительные концентрации тяжелых металлов (меди, хрома, свинца, кобальта, цинка, кадмия, стронция и других), периодические поступления ^{137}Cs в поверхностные воды северо-западной, восточной и центральной частей Черного моря. Несмотря на значительное сокращение объема использования минеральных удобрений и пестицидов в сельском хозяйстве, среднее содержание фосфора в водах Черного моря колеблется от 10–40 мкг/л в районе южного побережья Крыма до 600 мкг/л – в дельте Дуная.

В последние годы возросло загрязнение пляжей, морской воды и донных отложений условно патогенной и патогенной микрофлорой, что привело к глубоким изменениям в экосистеме моря и особенно в прибрежной полосе, а именно: уровень прозрачности воды снизился более, чем в 2 раза (до 2–8 м); зона гипоксии в Черном море расширилась с 3 до 40×10^3 км^2;

площадь зон цветения в северо-западной части Черного моря выросла в 20 раз сравнительно с 60-ми годами; увеличилось количество одноклеточных организмов и медуз, а также вредных экзотических организмов (на начало 90-х годов общая биомасса переселенца гребневика *Mnemiopsis leidei* в бассейне Черного моря оценивалась в 1×10^7 т); ширина полосы ареала макрофитов прибрежного мелководья сократилась до 3–5 м; значительно уменьшились морские биологические ресурсы; практически исчезли популяции высших ракообразных, придонных рыб и существенно сократились популяции больших планктонных ракообразных; периодически наблюдаются заморы и массовая гибель донных биоценозов на значительных площадях (за последние 20 лет потери донной фауны достигли 60×10^6 т, в т.ч. рыбы – около 3×10^6 т); количество особей морских млекопитающих уменьшилось почти в 20 раз; практически исчезло на северо-западном (СЗ) шельфе Черного моря филлофорное поле Зернова; объемы улова рыбы в Черном море за последние 10 лет сократились в 5 раз.

Наиболее существенный вред причинен здоровью населения. Из-за загрязнения и недостаточного обеспечения населения прибрежной полосы качественной питьевой водой в Автономной Республике Крым, Николаевской, Одесской, Херсонской областях и городе Севастополе почти каждый год наблюдаются вспышки заболеваний вирусным гепатитом, а также различными кишечными заболеваниями. Ухудшение качества пляжей и санитарного состояния прибрежных вод привело к уменьшению количества отдыхающих в санаториях, туристических учреждениях, других местах отдыха. Убытки вследствие ухудшения оздоровительной способности прибрежных рекреационных ресурсов оцениваются в 9×10^6 тыс. грн в год. Недостаточно используются потенциальные возможности производства морепродуктов за счет развития аквакультуры. Рыбный промысел в Черном и Азовском морях значительно уменьшился. Улов рыбы в последние годы составляет в среднем лишь 20 % уровня 60-х – начала 70-х годов. Такое положение привело к ежегодным потерям товарной продукции приблизительно на 75 млн долларов США.

Почти $2{,}6\times10^3$ км береговой линии Украины испытывают отрицательное влияние от плоскостного смыва и эрозии. Это приводит к непригодности прилегающих территорий для градостроительства и развития туризма, отрицательно влияет на состояние приморских и прибрежных экосистем.

Вследствие загрязнения морской среды, несбалансированного использования морских естественных ресурсов, а также

отсутствия системы интегрированного управления использованием естественных ресурсов Черного и Азовского морей Украина каждый год теряет (ориентировочно) до 1,7 млрд грн.

Основными проблемами экологии Черного моря являются: высокий уровень загрязнения морских вод; угроза здоровью населения и непоправимой потери биологического многообразия и биологических ресурсов моря; уменьшение объемов улова рыбы и заготовки морепродуктов; снижение качества морских рекреационных ресурсов; разрушение морских берегов и интенсификация отрицательных геологических процессов, деградация земель прибрежной полосы; отсутствие системы интегрированного управления природопользованием в прибрежной полосе; угроза исчезновения видов животных и растений, занесенных в Красную книгу Украины; уменьшение объемов разведения ценных промышленных видов моллюсков и рыб.

Анализ современного состояния изучения черноморского шельфа Украины показывает, что возникающие при этом проблемы наиболее эффективно могут решаться только с учетом многообразия, сложности и взаимообусловленности природных процессов, в основе которых лежат определенные объективные законы. Эффективным инструментом раскрытия и понимания закономерностей, реализуемых в действии этих процессов, в создании обусловленных ими явлений и ситуаций, могут служить концепции и подходы, изложенные в работе В.А. Емельянова «Основы морской геоэкологии. Теоретико-методологические аспекты».

На современном этапе изучения и освоения ресурсов черноморского шельфа Украины стала понятной необходимость совершенствования системы знаний о его экологических системах и подсистемах с точки зрения геологического миропонимания и «геологической вечности», нашедших наиболее полное воплощение в идеях В.И. Вернадского. Для достижения максимальной эффективности таких знаний очень важны как определенность категориального анализа и синтеза, так и познание конкретных объектов, функционирующих в изучаемой экосистеме в качестве ее подсистем (явлений и процессов), а также взаимодействий, в которых они присутствуют.

Деградация экосистемы Черного моря вызывает обоснованное беспокойство, так как нарушения, происходящие в ее компонентных, процессуальных и функциональных подсистемах, прежде всего, в шельфовой зоне, могут стать причиной нарушения естественных природных процессов не только локального, но и регионального уровня, влияя в определенной степени и на процессы, обеспечивающие динамическое равно-

весие биосферы (экосферы), которое сформировалось в течение многих сотен миллионов лет. Учитывая складывающуюся экологическую ситуацию на шельфе Черного моря необходимо срочно активизировать целенаправленные работы по изучению и оценке состояния его экосистем и их подсистем.

Сегодня базой при решении научных и практических вопросов, связанных с освоением и охраной разнообразных ресурсов геосферных экосистем черноморского шельфа Украины и ее подсистем, являются знания, накопленные различными направлениями океанологии, геологии, биологии, экологии и других научных отраслей, представители которых, изучая этот бассейн, накопили обширный теоретический и эмпирический опыт, фактический материал и создали глубокую методологическую базу. Результаты исследований осуществленные ими к настоящему времени могут, при соответствующем уровне синтеза, составить надежную основу дальнейшего познания Черного моря с позиций морской геоэкологии. Именно это научное направление, как представляется, призвано с помощью традиционных и новых концепций и подходов, не только сформировать теоретико-методологическую базу всестороннего и целенаправленного изучения, но и эффективного использования разнообразных ресурсов экосистемы Черного моря.

В Институте геологических наук НАН Украины в последние десятилетия активно разрабатываются экологические аспекты морской геологии, геологические аспекты биологической продуктивности морей и океанов, теоретико-методологические проблемы морской геоэкологии. Исследования осуществляются в тесном содружестве с научными и научно-производственными организациями геологического, биологического и океанологического профиля. Значение этих исследований, как представляется, выходит за рамки морской геологии и охватывает биосферные, экологические аспекты и проблемы, разрешение которых невозможно без тех знаний, которые приобретаются в процессе совместной работы представителями многих научных направлений.

Невозможно в ограниченной по объему книге уделить равноценное внимание рассмотрению и анализу всех явлений и процессов, имеющих место в геоэкосистеме шельфа Черного моря в пределах Украины, и которые так или иначе входят в предметную область морской геоэкологии. Поэтому значительное внимание авторы уделили вопросам, имеющим принципиальное значение для достижения главной цели настоящей работы, – формированию представлений о геоэкосистеме черноморского шельфа в пределах Украины с геоэкологических

позиций, т. е. как о сложной экосистеме, функционирующей в определенном морском сегменте пространства верхних горизонтов литосферы, испытывающем значительное антропогенное влияние.

Актуальность настоящей работы обусловлена:

необходимостью комплексного изучения черноморского шельфа Украины как природной экологической системы высокого уровня организации, сформировавшейся в процессе естественноисторического развития нашей планеты вообще и данного региона, в частности;

задачами рационального освоения минерально-сырьевых, пищевых, энергетических, информационных, рекреационных и других ресурсов геоэкосистемы черноморского шельфа Украины и ее подсистем;

требованием новых подходов к решению возрастающих проблем освоения ресурсов, сохранения и защиты геоэкосистемы черноморского шельфа Украины;

необходимостью более интенсивного изучения и повышения действенности контроля ухудшающейся экологической ситуации в украинской зоне шельфа Черного моря, являющейся важным звеном народного хозяйства Украины и играющей существенную роль в жизни значительной части ее населения, а косвенно – и населения многих стран, расположенных в черноморском бассейне.

Главная цель книги не могла бы быть достигнута без обобщения и анализа результатов геоэкологических работ, проведенных различными коллективами исследователей в различных районах украинской части черноморского шельфа в течение последних десятилетий. Так что ознакомление научной общественности с результатами этих работ также входило в задачу авторов.

В книге раскрыты такие фундаментальные для морской геоэкологии понятия как морская геоэкосистема (МГЭС) донных отложений, морской геоэкотон, геоэкологические и геоэкологически значимые явления и др., кратко изложены теоретико-методологические основы и методы их изучения на примере черноморского шельфа Украины и рекомендуемые для использования при изучении и практическом освоении его МГЭС. Дана характеристика основных подсистем живого вещества МГЭС и морской акваэкосистемы (МАКЭС) черноморского шельфа Украины. Значительное внимание в книге уделено рассмотрению различных загрязнителей МГЭС и МАКЭС. Описаны общие методы изучения и картирования МГЭС, рассмотрены основные подходы к оценке их антропо-

генных изменений. В монографии дан анализ методологическим подходам к дифференциации МГЭС, проведено районирование геоэкосистемы. Также даны некоторые рекомендации по организации мониторинга и защиты МГЭС.

Рекомендации, представленные в настоящей книге, разработаны авторами на основе синтеза большого и разнообразного фактического материала, полученного ими как при изучении донных отложений шельфа Черного моря в период с 1970 по 2002 гг. так и при глубоком анализе многочисленных специальных литературных опубликованных и фондовых источников. Основное внимание уделено в монографии геоэкосистеме, в т. ч. МГЭС, СЗ области шельфа Черного моря и его придунайскому району.

Авторы благодарны коллегам и друзьям за советы и помощь, полученные во время экспедиционных и лабораторных исследований, в работе над этой книгой. Авторы считают своим долгом выразить благодарность за помощь и поддержку Э.П. Тихоненкову, С.И. Кондратьеву, Ю.А. Загородней с которыми обсуждали отдельные идеи и разделы работы на различных этапах ее подготовки. Также они благодарны коллегам, сотрудникам отделов и лабораторий ИГН НАН Украины, Южного отдела УкрНИГРИ, директору ОМГОР ЦНПМ НАН Украины академику НАН Украины Е.Ф. Шнюкову за высокопрофессиональную помощь, и членам экипажей экспедиционных судов, без большого опыта, высокой квалификации и просто высоких человеческих качеств которых эта книга никогда бы не увидела свет.

Авторы искренне признательны ответственному редактору монографии чл.-кор. НАН Украины П.Ф. Гожику за полезные советы, а также внимание и поддержку, которые они постоянно ощущали при подготовке рукописи к изданию. Авторы также благодарны рецензентам – чл.-кор. НАН Украины Э.Я. Жовинскому и д-ру геол.-минер. наук, проф. Е.П. Ларченкову, которые нашли время терпеливо и внимательно прочитать рукопись книги и сделать ценные замечания как содержательного, так и редакторского плана, что, безусловно, помогло нам заметно улучшить ее последний вариант.

Монография рассчитана на морских геологов, геоэкологов, океанологов, а также аспирантов и студентов по этим специальностям. Думается, что знакомство с нею будет также полезным для лиц, которые по роду своей деятельности должны принимать решения, связанные с освоением акватории Черного моря, приморских территорий Украины и использованием их ресурсов.

Исследования, по результатам которых стало возможно издание этой книги, финансировались в основном Национальной академией наук Украины, а также Госгеолслужбой Украины.

РАЗДЕЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МОРСКИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

Важными составляющими теории и методологии изучения специальных вопросов эволюции литосферы, в пределах черноморского шельфа Украины и прилегающих пространств особенно закономерностей формирования донных отложений, влияния на них антропогенной деятельности, а также решения многих других геологических и экологических проблем Черного моря являются биосферно-экологическая концепция, экосистемно-структурный, естественноисторический и модельно-целевой подходы. При этом нельзя опустить некоторые терминологические, понятийные, методические и другие вопросы общего и частного характера, без ответа на которые сложно воспринимать, а тем более разрешать многие конкретные проблемы, возникающие при освоении ресурсов Черного моря.

Рассмотрению этих вопросов на основе понимания биосферы (экосферы) нашей планеты, континентов и Мирового океана, атмосферы, гидросферы и верхних слоев литосферы как глобальных экосистем, а морей и их структурных единиц, в частности Черного моря, его шельфа, континентального склона и ложа как экологических подсистем более низких уровней или порядков, и всех перечисленных и не перечисленных экосистем как феноменов геологической природы, посвящены главы настоящего раздела.

ГЛАВА 1

Морская геоэкология и некоторые теоретические вопросы изучения донных отложений черноморского шельфа Украины как геоэкологических систем

Экологические события, затрагивающие верхние горизонты литосферы, в частности, донные отложения и процессы жизнедеятельности обитающих в них или связанных с ними организмов, в современных границах Черного моря вообще, и его шельфовой зоны в пределах Украины, в частности, в последние десятилетия все активнее входят в поле интересов геологической науки. Необходимость решения проблем, вызванных указанными событиями, активизировали разработку теории и методологии нового научного направления – морская геоэкология, в задачи которого и входит сегодня решение соответствующей проблематики [1 и др.].

Под термином «морская геоэкология» понимаем синтетическое научное направление, изучающее структуру, свойства, функции, закономерности функционирования и развития вполне определенного объекта – МГЭС и ее подсистем, а также геоэкологические и геоэкологически значимые процессы и явления. Первой важной причиной синтеза морской геоэкологии как научного направления есть объективные трудности, которые испытывали ученые и специалисты при конструктивных разработках в области целенаправленного преобразования природной морской среды и освоения ее ресурсов. Обусловлены эти трудности не только ограниченностью существующих знаний о природных процессах, но и закономерностями антропогенных модификаций последних. Второй важной причиной необходимости упомянутого синтеза являются и относительные обособленности существующих геологических, инженерных и экологических видений путей решения проблем экологического плана, возникающих при изучении или освоении верхнего слоя литосферы в пределах современных границ морских акваторий. Комплексная же разработка научных основ взаимодействия человека с окружающей средой тесно связана с проблемами синтеза научного знания, что, в свою очередь, неизбежно

ведет к возникновению и развитию новых пограничных наук или научных направлений, отражающих тенденцию к интеграции научных теорий и методологий.

Таким образом, возникновение морской геоэкологии связано как с развитием методологии различных направлений геологической и экологической наук, так и с необходимостью предотвращения и прогнозирования негативных последствий деятельности, направленной на освоение минерально-сырьевых, энергетических, пищевых, рекреационных и других ресурсов природной экосистемы, в частности МГЭС шельфа Черного моря. При этом указанная экосистема вовлекается в функционирование других, в основном природно-антропогенных систем (коммунально-хозяйственных, агропромышленных, транспортных гидротехнических, марикультурных и др.). В этом отношении объект изучения морской геоэкологии становится близким к объекту исследования морской инженерной геологии [2 и др.].

Кроме того, необходимость смыслового углубления и уточнения как самого термина «морская геоэкология», так и основного объекта научного направления, обозначенного этим термином, требовало применение к изучению объектов морской геоэкологии биосферно-экологической концепции и экосистемно-структурного подхода. Вызвано это рядом причин. Прежде всего, трактовкой феномена экосферы и биосферы, местом и ролью в нем Мирового океана, морей, их донных отложений, а также необходимостью вовлечения этих гетерогенных геологических образований в понятие объекта морской геоэкологии. Все эти вопросы, включая терминологические, рассмотрены ранее [1 и др.], поэтому мы не будем останавливаться на них подробно, а отметим следующее.

Предварительная теоретико-методологическая проработка вопроса и результаты изучения донных отложений Черного моря с позиций биосферно-экологической концепции, экосистемно-структурного, естественноисторического и модельно-целевого подходов позволяют рассматривать донные отложения черноморского шельфа Украины, как МГЭС. Это природное геологическое образование, занимающее относительно тонкий слой пространства верхних горизонтов литосферного блока в пределах указанного шельфа, на границе с соответствующими сегментами или экосистемами гидросферы и атмосферы. В пространстве, занимаемом МГЭС донных отложений, обитают определенные виды и сообщества живых организмов. При этом именно живое вещество и геологическая среда играют в МГЭС основную системообразующую роль, а основными элементами ее компонентной, информационной, функциональной и процессуальной структур-подсистем являются живое вещество и неживые компоненты геологической среды, процессы их информационных и функциональных взаимодействий.

В широком понимании МГЭС – это единый, внешне и внутренне взаимообусловленный, относительно однородный, самоорганизующийся природный комплекс. Следует подчеркнуть, что под однородностью МГЭС здесь понима-

ется не одинаковость ее вещественного состава и типов взаимосвязей, а статистическая характеристика изменчивости признаков или, другими словами, одинаковость статистических оценок ее вещественной и полевой структур.

В частности, если рассматривать любую МГЭС с позиций, развиваемых [3], то она может быть представлена совокупностью взаимодействующих геологических, геохимических, геофизических, горно-геометрических и биологических полей, т. е. является информационной системой. С точки зрения термодинамики МГЭС может рассматриваться как геобиотермодинамическая система с учетом внешних источников и стоков массы и энергии, включая работу, совершаемую под влиянием внешних воздействий.

Учитывая системность объекта, можно считать его диалектическим единством вполне определенных внутренних: вещественной, процессуальной, информационной и функциональной структур-подсистем. Под морскими геоэкологическими процессами и (или) явлениями в работе понимаются все геологические процессы и (или) явления, имеющие экологическое значение, а также экологические процессы и (или) явления, оказывающие влияние на геологические особенности той или иной части МГЭС и происходящие в ее пределах геологические процессы. Явления и (или) процессы, которые оказывают определенное влияние на геологические и (или) экологические особенности МГЭС, но происходят вне ее пространства, относятся к морским геоэкологически значимым.

Представляется, что главное значение понятия МГЭС для теории и методологии науки состоит в том, что оно подчеркивает обязательное наличие взаимоотношений, взаимозависимостей, причинно-следственных, информационных, генетических и других связей, т. е. объединения компонентов, слагающих морские донные отложения в функциональное целое. Отсюда следует, что поскольку части в операциональном смысле неотделимы от целого, донные отложения черноморского шельфа Украины представляют собой уровень организации материи, вполне подходящий для применения методов системного анализа.

Каковы же особенности МГЭС черноморского шельфа Украины с точки зрения биосферно-экологической концепции и упомянутых выше подходов? Основываясь на сути указанной концепции, которая предполагает рассмотрение биосферы, как современной части крупнейшей планетарного ранга экосистемы (экосферы), а атмосферы, гидросферы и литосферы – как подсистем последней [4], можно рассматривать МГЭС черноморского шельфа Украины, как: единую региональную геоэкологическую систему подсистему экосистемы и геоэкосистемы Черного моря; подсистему глобальной МГЭС Мирового океана; подсистему глобальной экосистемы Мирового океана; подсистему глобального дискретного геоэкотона «континентальная геоэкосистема–МГЭС» и т. д. Антропогенные образования при этом рассматриваются либо как системные компоненты или подсистемы шельфовых МГЭС, либо как специфические антропогенные системы, обменивающиеся с шельфовыми МГЭС потоками ве-

щества, энергии и информации. Учитывая это, роль антропогенных образований должна исследоваться с точки зрения их взаимовлияния с шельфовыми МГЭС, но с учетом того, что последние – результат длительного, как правило, эволюционного развития материи, и сохраняют в себе следы предшествующих этапов формирования и функционирования рассматриваемой системы. При этом существование антропогенных образований относительно кратковременно, хотя обусловленные ими процессы могут оказывать мощное, иногда даже катастрофическое воздействие на МГЭС черноморского шельфа Украины.

Неоднородность и сложность структуры рассматриваемой МГЭС являются результатом геологической истории нашей планеты и ее пространственных региональных геологических структур, в частности, Средиземноморско-Черноморской, их развития, обусловленного вещественным, энергетическим и информационным взаимодействием множества систем и их структурных компонентов, в т. ч. – процессов. Эти процессы следует рассматривать как механизмы обратной связи, саморегуляции и поступательной эволюции Земли как планеты вообще и ее экосферы как экологической системы в частности. Они имеют сложную геологическую, химическую, физическую, биологическую, а чаще комплексную природу.

Энергию, которая тратится на поддержание этих процессов, МГЭС шельфа как и экосфера (биосфера) в целом, получает, главным образом, из Космоса через солнечное излучение. Но значительная часть энергии поступает в МГЭС из внутренних источников Земли, которые расположены в ее коре и мантии и образуются прежде всего вследствие реакции распада радиоактивных элементов, проходящей с выделением большого количества тепла. Кроме этого, поступление определенного количества энергии могут обеспечивать экзотермические химические реакции, которые происходят не только в литосфере, но и в самой МГЭС при утилизации углерода органического происхождения ($C_{орг}$) [5]. Основное количество $C_{орг}$ утилизируется в МАКЭС. В поверхностной пленке донных осадков органическое вещество минерализуется, энергетически обеспечивая процессы диагенеза и образование аутигенных минералов – новых элементов твердого компонента МГЭС. Этот энергетический вклад, по А.П. Лисицыну [5], является очень существенным.

Что касается необходимой для существования и развития МГЭС информации, то значительная часть ее тоже поступает через разнообразные поля, излучения и вещество, в т. ч. из Космоса. Частично они тратятся и трансформируются в морских аэро- и акваэкосистемах и только потом поступают в МГЭС. Но МГЭС, кроме того, непрерывно поглощает огромное количество информации и вещества в виде газов, растворов, минеральных, органических и органоминеральных соединений, которые поступают в нее из глубинных слоев литосферы и смежных экосистем, в т. ч. привносится живым веществом, из других экосистем. В то же время МГЭС непрерывно экспортирует определенное количество вещества, энергии и информации собственного производства в окружающую среду, т. е. в другие экосистемы.

Непрерывное поступление вещества, энергии и информации в МГЭС черноморского шельфа, обмен ими с другими экосистемами, в первую очередь с аквальной, обусловливают неравновесность ее вещественного, энергетического и информационного состояний. Об этом свидетельствуют, в частности, преобразования твердой, жидкой и газовой подсистем шельфовых МГЭС, неоднородный рельеф ее границы с акваэкосистемой, подводные оползни, мутьевые потоки и другие явления, но главное – существование ее живой подсистемы. То есть процессы, которые осуществляются в шельфовых МГЭС, поглощают, трансформируют и экспортируют в различных формах и всеми возможными способами те излишки вещества, энергии и информации, которые поступают из всех возможных источников или образуются в их пределах. Именно процессы массо-, энерго- и информационного обмена, которые непрерывно осуществляются между компонентами структуры МГЭС, МГЭС с МАКЭС подсистемой гидросферы, морской аэроэкосистемой (МАЭС) – подсистемой атмосферы и через них с Космосом, а также с геосистемой глубинных слоев литосферы, и являются теми механизмами, через которые своеобразно реализуется бесконечное количество функций, в частности, шельфовых МГЭС. При этом в каждом конкретном случае все эти процессы являются структурными компонентами процессуальной подсистемы определенной шельфовой МГЭС, а функции, через которые они реализуются, являются структурными компонентами соответствующей функциональной подсистемы той же МГЭС. При этом функции каждой конкретной МГЭС определяются вещественным, видовым, химическим составом и свойствами ее компонентов, геологическими, геохимическими, биологическими, геофизическими процессами их внутренних и внешних взаимодействий, а также свойствами природных и искусственных полей, которые при этом образуются.

Исследования показывают, что для существования и развития геоэкосистем черноморского шельфа как и для МГЭС вообще главными являются не столько собственно качественный и количественный состав их компонентов, включая живой компонент, сколько их функции. Концепция функций МГЭС в кратком виде изложена в работе [1]. Напомним, что с позиций морской геоэкологии под экологическими функциями шельфовой МГЭС понимается все процессуальное многообразие ее внутренних и внешних взаимодействий, которые обусловливают не только функционирование и развитие самой МГЭС и ее компонентов, но и определяют ее роль в обеспечении условий функционирования и развития смежных экосистем, их компонентов, а также экосистем, расположенных за границами пространства шельфа, их компонентов и прежде всего – живого компонента, в т. ч. вида «Homo Sapiens» и человеческого сообщества как социальной структуры. Подчеркнем, что последние, не являясь компонентом шельфовых МГЭС, могут активно воздействовать на них, причем в определенных случаях значительно превышать по глубине и интенсивности воздействия сообществ других биологических видов. При этом сами функции МГЭС определяются вещественным, видовым, химическим составами и свойствами компонен-

656919

тов, геологическими, геохимическими, биологическими, геофизическими процессами внутренних и внешних взаимодействий, а также свойствами образуемых при этом полей естественного и искусственного происхождения.

Таким образом, концепция функций шельфовых МГЭС включает в круг интересов морской геоэкологии разностороннее изучение роли морских донных отложений как важного функционирующего компонента экологической системы Черного моря, вообще и шельфовой зоны, в частности. В то же время, с позиций указанной концепции эти же донные отложения рассматриваются как пространство, среда и условия существования определенных форм органической жизни от простейших и растений до представителей животного мира. Кроме того, важнейшим сегментом указанного круга интересов являются взаимосвязи шельфовой МГЭС с человеком как биологическим видом и человечеством как социальной структурой. С таких позиций морские донные отложения ранее не исследовались.

Представления о функциях МГЭС к настоящему времени в значительной степени конкретезированы теоретической морской геоэкологией [1]. Но уже сегодня можно сформулировать широкий перечень задач для науки и практики, без решения которых трудно объективно оценить влияние природных или (и) антропогенных изменений на функционирование и развитие самой шельфовой МГЭС, входящих в ее структуру компонентов-подсистем, в частности биологических, человека как биологического вида и человечества как социальной структуры. В связи с этим, перед морской геоэкологией стоит множество задач. Общее для этих задач то, что содержание каждой из них заключается в изучении любого явления с точки зрения его влияния на конкретную функцию шельфовых МГЭС, в т. ч. взаимовлияния их функций и других, прежде всего, морских подсистем экосферы и их компонентов.

Таким образом, шельфовая МГЭС как объект морской геоэкологии понятие весьма неоднозначное и сложное. Естественно, что задачи морской геоэкологии в их познании и теоретико-методологические основы последнего характеризуются соответствующей сложностью. Учитывая это, должна быть создана определенная система знаний о шельфовых МГЭС как подсистема знаний о соответствующем морском бассейне, Мировом океане, биосфере (экосфере). Причем, в первую очередь, в связи с жизнедеятельностью и развитием живых организмов и прежде всего человека.

Одним из главных условий успеха при создании такой системы знаний является определенность категориального анализа и синтеза, а также познание явлений, процессов и состояний, возникающих и осуществляющихся в различное время и сроки в пространстве той или иной шельфовой МГЭС, т. е. должны осуществляться системные исследования последних, что особенно необходимо при сравнительной оценке возникающих причин нарушений. При этом следует учитывать, что нарушения шельфовых МГЭС могут являться результатом как ее естественных эволюционных изменений, так и природных катастроф или антропогенного воздействия. Признание в качестве основного объекта морской

геоэкологии сложной системы, какой является шельфовая МГЭС, нацеливает теорию на раскрытие в ней внутренних противоречий, на выявление специфики причинных связей и отношений объекта, на детальный анализ его структуры и связанных с ним процессов функционирования. Все это в совокупности необходимо и для рационального освоения ресурсов черноморского шельфа Украины.

Черноморская МГЭС шельфа Украины является продуктом длительного естественноисторического геологического развития данного региона. В своей структуре она содержит следы и производные предшествующих этапов развития. Одной из основных задач морской геоэкологии является исследование законов формирования структуры, функционирования, развития и гибели (преобразования в горную породу или геосистему) природных компонентов-подсистем МГЭС. При этом внимание следует сконцентрировать на связанных с перечисленными процессами характеристиках эмерджентных свойств геоэкосистем. Среди таких свойств можно назвать устойчивость, продуктивность, надежность функционирования и др.

Методологически важным при изучении шельфовых МГЭС представляется вопрос о их взаимоотношении с природными образованиями, обозначаемыми термином «подводные ландшафты».

Подробно этот вопрос рассмотрен в работе [1], однако отметим, что по нашему мнению, термин «подводный ландшафт» должен рассматриваться как понятийное обозначение результата взаимодействия основных морских экологических систем и подсистем, о которых говорилось выше. Время существования подводного ландшафта отвечает времени функционирования образующих его морских экосистем, в результате взаимодействия и на границе которых он образовался, заняв определенный объем пространства в зоне наиболее активного их взаимопроникновения. Это позволяет рассматривать морские подводные ландшафты, их структурную организацию, функциональные особенности, физиономические признаки, наряду с другими характеристиками (биологическими, геохимическими, физико-механическими и т.д.), в качестве важнейших комплексных критериев оценки шельфовых МГЭС и происходящих в них процессов. В то же время морские подводные ландшафты могут служить качественными индикаторами других морских подсистем (чаще аквальных, реже – аэральных), взаимодействующих с МГЭС.

Естественно, что шельфовая МГЭС из-за положения Черного моря как конечного бассейна стока, играет особую роль в структуре и функционировании экосистемы последнего. В частности, процессы, возникающие в шельфовой МГЭС в результате экзогенного (биогенного, космогенного, антропогенного) и (или) эндогенного поступления вещества и энергии, могут иметь в пределах рассматриваемой системы гораздо более тяжелые последствия по сравнению с континентальной геоэкосистемой, испытавшей подобное по силе воздействие. Это можно объяснить непрерывностью шельфовой МГЭС в пространстве экосистемы Черного моря и ее меньшей открытостью, ведь она в своей верхней

части граничит с МАКЭС, гораздо более плотной и менее динамичной, чем МАЭС, с которой, как правило, граничат континентальные геоэкосистемы. Кроме того, как правило, МАКЭС отличается большим разнообразием живого компонента (ЖК) и большим его количеством, чем МАЭС.

Учитывая сказанное, а также наличие на нашей планете существенного гравитационного поля, шельфовые МГЭС, расположенные на относительно низком гипсометрическом уровне, в целом обладают значительной аккумулирующей функцией, что и определяет их более высокую подверженность негативным влияниям различной природы.

В связи с этим при исследовании указанных МГЭС одними из важнейших являются временные категории [1].

Понимание структуры МГЭС шельфа, как важнейшее условие ее эффективного изучения, тесно связано с пространственными аспектами исследования. Наиболее полно эти аспекты проанализированы в работе [1]. Этот анализ показал, что в узком смысле МГЭС черноморского шельфа Украины может рассматриваться как природное образование, обладающее целым рядом пространственно-временных, контактных, процессуальных и функциональных структурных особенностей. Это образование удовлетворяет требованиям системности, являясь системой с устойчивой структурой и определенными функциональными связями. В широком же смысле МГЭС черноморского шельфа Украины состоит из самого себя в настоящем и упорядоченного множества основных ее состояний в прошлом, объединенных на основе действия объективных законов и общей пространственно-временной конфигурации экосистем Черного моря, Мирового океана и, наконец, экосферы, связывающей компоненты этого множества. Иными словами, указанная шельфовая МГЭС может и должна рассматриваться в двух основных аспектах: во-первых, как данный объект морской геоэкологии, зафиксированный в процессе междисциплинарных исследований с помощью различных (геологических, биологических, океанологических, технических и других) методов; во-вторых, как продукт исторического развития, строго упорядоченное, структурно оформленное множество состояний данной пространственной единицы верхнего слоя литосферы, от возникновения до настоящего момента. Это указывает на важность использования историко-генетического подхода и его связи с экосистемно-структурным подходом в методологии изучения шельфовых МГЭС, что обусловливает глубокое понимание и более широкое применение последнего.

Чтобы получить полное представление о роли компонентов и не компонентов МГЭС черноморского шельфа Украины, в т. ч. антропогенных образований, в ее формировании, о протекании в ней процессов во времени, необходимо знание генезиса конкретной шельфовой МГЭС и (или) ее компонентов-подсистем, в т. ч. пространственных. Ведь именно генетические связи характеризуют МГЭС шельфа со стороны последовательности возникновения и развития ее компонентой и пространственной структур.

Безусловно, очень важным для понимания роли антропогенных образований в функционировании МГЭС черноморского шельфа Украины является понимание необходимости изучения ее процессуальной подсистемы, что делает важной составляющей методологии исследования изучение соответствующих процессуальных характеристик.

Методологически плодотворным при изучении процессуальных характеристик МГЭС шельфа является метод структурно-диахронического анализа, основной целью которого является познание структурно-морфологических характеристик развертывания геоэкологических, в т. ч. и антропогенных явлений во времени, продолжительности и порядке следований фаз, ритмики и скорости протекания отдельных событий единого экологического процесса.

Важной составляющей методологии изучения морских донных отложений как МГЭС является метод синхронического изучения диахронии, позволяющий определять их временную структуру и такую ее важную характеристику как цикличность. Последняя имеет большое методологическое значение при построении моделей процессов, так как изменение циклических структур является обычно результатом изменения законов или важнейших условий, управляющих данными процессами или влияющих на них. Периодическое повторение в геоэкологических процессах определенных состояний МГЭС имеет не только большое методологическое значение при изучении влияния на нее антропогенных образований, но и при разработке новых технологий взаимодействия общества и природы в шельфовых зонах морей и на приморских территориях.

В рыхлых осадочных, еще не прошедших стадию диагенетических преобразований МГЭС, а также в скальных магматогенных, метаморфогенных и осадочных шельфовых МГЭС может происходить и происходит практически весь широкий спектр геоэкологических процессов. Это процессуальное разнообразие в значительной степени обусловливается основными свойствами МГЭС (многокомпонентностью, многофазовостью и гетерогенностью и др.) и ее подсистетем.

МГЭС черноморского шельфа Украины и ее пространственные составляющие (подсистемы) являются открытыми системами. Они получают и отдают материальные компоненты, информацию и энергию. Поэтому концепция МГЭС, учитывающая существование связанных между собой через МГЭС и необходимых для ее функционирования и самоподдержания сред на входе и выходе, подкрепленная естественно-историческим и модельно-целевым подходами, решает проблему, вызванную необходимостью проведения ее границ. Упомянутые подходы указывают на то, что в каждом конкретном случае не имеет особого значения, как вычленяется исследуемая часть – подсистема МГЭС. Часто для этих целей удобными оказываются естественные границы. Выделенные на основании естественно-исторического подхода, они могут изменяться в соответствии с изменениями, возникающими в физико-океанологических, геологических или термодинамических природных условиях внешней среды или в результате определенных биологических и антропогенных процессов. Однако в

отдельных случаях, главные критерии для выделения МГЭС определяются с применением модельно-целевого подхода, хотя положения естественноисторического подхода при этом, как правило, также учитываются.

Таким образом, *первым основным свойством МГЭС шельфа* является ее генетическая связь с палеогеоэкосистемами, т. е. тесная зависимость от естественноисторических условий происхождения и последующего развития. Это обязывает исследователей при изучении МГЭС шельфа всегда принимать во внимание геологическую историю региона их формирования.

Вторым важным свойством МГЭС шельфа является ее полидисперсность. Размеры компонентов, входящих в состав МГЭС, колеблются в широких пределах: от метров до долей микрона. Часто в ней присутствуют компоненты различной величины, отличающиеся друг от друга по размерам в тысячи и миллионы раз. Это справедливо по отношению как к неживым, так и к живым компонентам МГЭС. Закономерности существования и взаимодействия дисперсных и коллоидных частиц изучаются физико-химическими методами, зернистые и крупнообломочные составляющие и их взаимодействия исследуются с помощью соответствующих методов литологии и грунтоведения, а закономерности формирования живых биотических сообществ, их видового разнообразия, взаимосвязей между ЖК, изучаются специальными методами гидро- и микробиологии. При этом комплексное изучение МГЭС шельфа выходит за границы областей перечисленных научных направлений и становится сферой приложения морской геоэкологии. Напомним, что формирование свойств каждой размерной и (или) генетической общности (подсистемы), входящей в МГЭС шельфа, подчиняется определенным закономерностям, но вместе с тем, взаимоотношения этих общностей и слагающих их компонентов в пределах пространства МГЭС ведут к появлению новых общностей (подсистем), взаимодействующих на основе новых закономерностей и приводящих к изменению тех или иных свойств МГЭС.

Третье и четвертое свойства МГЭС шельфа заключаются в ее соответственно многокомпонентности и многофазовости.

В роли компонентов системы могут рассматриваться физически, химически, геологически и (или) биологически индивидуальные материальные неживые и (или) живые объекты, в т. ч. и антропогенные, образующие относительно гомогенные части данной системы.

Говоря о многофазовости МГЭС, следует подчеркнуть, что под термином «фаза» в данном случае понимается ограниченная в пространстве материальная часть (компонент) МГЭС, обладающая соответствующей структурной системой, в первую очередь – компонентной. Обычно диапазон вариаций свойств компонентов каждой из фаз значительно меньше, чем отличия между свойствами компонентов различных фаз. Однако бывают исключения. Например, удельный вес компонентов твердой фазы колеблется, главным образом, от 2,20 до 4,00 г/см^3, тогда как удельный вес жидкой фазы МГЭС обычно не превышает 1,05 г/ см^3.

Следует иметь ввиду, что антропогенные элементы компонентной структуры МГЭС могут представлять собой любую из ее фаз, а также живой компонент. Отметим, что ЖК МГЭС также многофазен. Причем относительная масса жидкой фазы в живых организмах часто значительно преобладает над массой их твердой фазы. В этом плане ЖК МГЭС близок физико-химическим дисперсным системам, в которых главными составляющими твердой фазы часто являются глинистые минералы или (и) органическое вещество.

Пятым свойством МГЭС шельфа является ее гетерогенность, т.е. различные компоненты системы и даже отдельные составляющие этих компонентов могут иметь, и обычно имеют, различный генезис.

Шестое свойство МГЭС шельфа заключается в изменчивости ее во времени и пространстве, что обусловлено действием естественных различных и антропогенных внешних и внутренних факторов.

Седьмым основным свойством МГЭС шельфа является неравномерность распределения компонентов в ее объеме, которая объясняется не только спецификой генезиса этих компонентов, но и постгенетическими, эволюционными или революционными процессами. Эти процессы могут вызываться как объективными природными, так и антропогенными причинами.

Восьмое фундаментальное свойство МГЭС шельфа заключается в постоянной подверженности сложным природным, а в последние десятилетия все чаще и антропогенным воздействиям, влияющим на ее свойства и функционирование. Чем выше уровень МГЭС и чем она масштабнее, тем более многообразное влияние она испытывает.

Одним из самых общих признаков МГЭС шельфа является ее геологическая среда, т. е. подсистема МГЭС, включающая взаимодействующие твердый, жидкий и газовый компоненты. С этой подсистемой, в свою очередь, взаимодействует биологическая подсистема ЖК, состоящая, в основном, из автотрофных и гетеротрофных организмов. Живой компонент МГЭС играет не только значительную роль в протекании геоэкологических процессов внутри этой МГЭС, но и по существу является основным движителем механизма ее взаимодействия с другими экосистемами биосферы, механизма, обеспечивающего круговорот веществ, аккумуляцию и трансформацию солнечной энергии в биосфере и т.д.

Функционирование автотрофов и гетеротрофов в определенной степени разделено в пространстве шельфовой МГЭС на расположенные друг над другом ярусы. Автотрофный метаболизм происходит, в основном, в самом верхнем ярусе МГЭС, на границе с МАКЭС шельфа, т. е. там, где наиболее доступна световая энергия. В то же время гетеротрофный метаболизм преобладает, как правило, в основном объеме МГЭС, где накапливается органическое вещество. Функционирование автотрофов и гетеротрофов в МГЭС частично разделено также во времени, т.е. использование продукции автотрофов гетеротрофами может происходить с существенной задержкой. Лишь небольшая часть продуктов

фотосинтеза используется фитофагами и паразитами, питающимися остатками растительности. Большая же часть фотосинтезированного вещества попадает в МГЭС донных осадков, захороняется и постепенно используется гетеротрофами, образующими в компонентной и процессуальной структурах МГЭС соответствующие подсистемы.

Пространственно-временное разделение процессов в шельфовой МГЭС позволяет подразделить потоки энергии, поступающие в нее с пищей, на два типа: оперативного и перспективного использования.

В качестве общего принципа можно указать, что в операциональном смысле живые и неживые компоненты шельфовой МГЭС настолько тесно связаны в природе между собой в одно целое (систему), что разделить их часто очень трудно, и делается это довольно условно. Большинство биогенных и абиогенных веществ не только встречаются в организмах, но и образуют непрерывные потоки между живым и неживым компонентами МГЭС. Однако в МГЭС встречаются вещества, которые принадлежат исключительно либо живому, либо неживому компонентам системы. В качестве примера можно привести аденозинтрифосфат (АТФ) – вещество, обладающее значительным запасом энергии, которое может длительно существовать лишь в живых клетках. В то же время гумины, являющиеся устойчивым конечным продуктом разложения, не встречаются в живых клетках, но характерны для многих, в т. ч. и для геоэкологических систем. Другие важные биологические соединения, например, ДНК, которая служит генетическим материалом клеток, и хлорофиллы могут встречаться и вне клеток, но тогда они не функционируют. Как известно, количественное определение АТФ, гумуса и хлорофилла на единицу площади или объема используется в биологии как показатель биомассы, разложения и продукции соответственно. Следует отметить условность подразделения живого компонента МГЭС по типу питания, так как некоторые организмы могут изменять тип питания в зависимости от условий среды. Разделение гетеротрофов на макро- и микро - хотя и условно, но оправдывается значительным различием методов их изучения.

Говоря об источниках и качестве доступной для МГЭС шельфа энергии, следует подчеркнуть, что именно они в той или иной степени определяют видовой состав и численность элементов структуры ЖК, характер протекающих в МГЭС функциональных процессов. Изучая энергетику МГЭС, необходимо постоянно помнить, что энергия однажды использованная, например, каким-либо организмом ЖК, превращается в тепло и утрачивается для данной системы. Энергия может накапливаться, храниться в объеме МГЭС, преобразовываясь в более эффективные формы, а также передаваться от одной подсистемы МГЭС другой. Но она не может быть вновь пущена в круговорот, подобно минеральным элементам, или, например, воде, так как замкнутые термодинамические системы в природе невозможны. К сожалению, до настоящего времени многие управленцы, в т. ч. представители природоэксплуатирующих и приро-

доохранных областей деятельности, по-видимому, не знакомы или игнорируют объективную реальность необходимости получения экосистемами, в т. ч. МГЭС шельфа, извне, на входе, необходимого для поддержания их функционирования относительно постоянного притока энергии. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что, например, прямое удаление травоядным бентосом или человеком более 30–50% годового прироста донной растительности, вызывающее значительное снижение потока энергии на входе в МГЭС, способно уменьшить ее сопротивляемость различным негативным воздействиям извне. Наглядным примером, доказывающим справедливость данного утверждения, является феномен деградации МГЭС СЗ шельфа Черного моря из-за непродуманной эксплуатации ресурсов филлофорного поля Зернова и одновременно возрастающих антропогенных воздействий на эту МГЭС в целом.

На первый взгляд случайные образования МГЭС являются закономерно структурированными системами. Учитывая все вышесказанное, следует подчеркнуть, что эта структурированность может выражаться одновременно в различных планах. Первый план – определенный компонентный состав неживой и живой составляющих системы. Он характеризуется количественными соотношениями различных минералов и фрагментов горных пород, других минеральных образований, поровых вод, различных видов биоты и, конечно, антропогенных образований. Все они обладают определенными морфологическими, размерными и возрастными характеристиками, физико-химическими, метаболическими и другими свойствами. Второй план структурированности МГЭС – то или иное пространственное распределение абиотических, антропогенных, биогенных неживых и живых компонентов в пространстве объема данной системы. Обычно при рассмотрении структурированности МГЭС в этом плане, выявляются определенные закономерности пространственного размещения ее компонентов относительно границ системы. Обусловлены эти закономерности либо физическими законами (например, гравитации), либо биологическими потребностями, либо широким комплексом других условий, включая законы развития человеческого общества. Примером проявления такой пространственной структурированности могут быть слоистость, мозаичность и другие явления, вызванные неравномерностью распределения компонентов МГЭС в ее объеме. Кроме того, структурированность МГЭС может рассматриваться в аспекте совокупности всех существующих межкомпонентных или даже межэлементных связей и взаимодействий (физических, химических, биологических, а также комплексных – физико-химических, биогеохимических, биофизических, экологических, информационных и т.д.).

Учитывая, что каждый компонент МГЭС шельфа выполняет свою определенную функцию (и эти функции связаны между собой), структура, основанная на таких взаимосвязях, определяется как функциональная. Часто при подразделении входящего в МГЭС живого вещества в качестве критерия дифференциации принимается функция того или иного биологического объекта. Наконец,

любая МГЭС обладает определенным закономерным набором процессов, связывающих данную систему с другими системами. Кроме того, на МГЭС извне также влияют определенные процессы, происходящие в соседних или отдаленных системах. Поскольку все процессы так или иначе связанные с МГЭС закономерны и взаимосвязаны, то правомерно говорить о четвертом плане структурированности, а именно – о процессуальной структуре МГЭС.

Таким образом, нами перечислены основные планы, в которых рассматривается структура МГЭС шельфа. Следует отметить, что указанные планы структурированности тесно связаны между собой, но в то же время каждый из них включает в себя целый ряд других структур. Например, существуют понятия структуры твердой, жидкой и газообразной фаз, структуры отдельных минеральных агрегатов, минералов и т.д. Особого внимания заслуживают структуры, формируемые ЖК системы. Среди них трофическая, видовая, хорологическая и размерная структуры живого вещества. Сочетание строения тонкодисперсной подсистемы с более крупными подсистемами дает видимые под оптическим микроскопом детали мезоструктуры или визуально определяемой макроструктуры. В то же время, микро-, мезо- и макроструктура представляют собой единую взаимодополняемую систему строения МГЭС, отличаясь детальностью и глубиной проникновения исследователя в структурную схему объекта.

Если решать вопрос о размерах пространства части МГЭС шельфа, которую достаточно изучать с целью оценки компонентной структуры всей системы, то можно при этом руководствоваться необходимостью полной оценки всех четырех составляющих понятия структуры. Учитывая это, объем такого пространства должен выбираться исходя из размеров компонентов, слагающих ту или иную МГЭС шельфа. То есть, для изучения МГЭС шельфа необходимо выбирать такие объемы ее пространства, которые отражают как среднюю структуру пространства, так и структуру всей рассматриваемой системы. Последняя при этом должна характеризоваться достаточно однообразными физико-химическими, физико-механическими, экологическими и другими свойствами. Такие части пространства МГЭС шельфа можно называть «структурными объемами». В зависимости от специфики компонентной структуры шельфовой МГЭС такие объемы в зависимости от задач исследований колеблются, как правило, от 100 $см^3$ до 0,01 $км^3$ и более. Компонентная структура такого ограниченного объема пространства МГЭС часто позволяет получить представление о компонентной структуре всей МГЭС или ее какой-то подсистемы в целом. В однородных МГЭС небольшие различия структур (компонентной, генетической, функциональной и др.) в их пространстве, не должно иметь существенного значения для выбора места отбора проб для исследований. Однако при структурных исследованиях нельзя забывать, что все структурные элементы изучаемой МГЭС взаимосвязаны и должны рассматриваться как части ее структуры, согласно основным концепциям, подходам и целям исследования.

«Структурный элемент» или «элемент структуры» является понятием, под которым понимается обособленная, простая относительно гомогенная часть

МГЭС, имеющая тот или иной раздел с другими частями системы и обменивающаяся с ними определенными количествами вещества, энергии и информации. В одних случаях этот раздел имеет четкую границу, в других – граница неясная и образует определенную переходную зону. В частности, между структурными элементами четырех основных фаз вещества в МГЭС резкие границы, как правило, отсутствуют. Поэтому существуют определенные проблемы разделения подсистем МГЭС, вследствие явлений взаимопроникновения их сред. В качестве примера элементами компонентной структуры МГЭС шельфа можно назвать коллоидные частицы, тонкодисперсные твердые частицы, зерна минералов, агрегаты, поры, газы, отдельные организмы и др.

Термин «структурный компонент» или «компонент структуры» обозначает совокупность структурных элементов, образующих одну из четырех основных фазовых подсистем МГЭС. Говоря «твердый», «жидкий», «газовый» или «живой» компоненты, мы имеем в виду соответствующие подсистемы МГЭС шельфа, занимающие в ее пространстве обособленные, со сложным очертанием границ пространственные объемы, обладающие различными составами и свойствами. Взаимоотношение и взаимодействие указанных подсистем являются основой МГЭС шельфа, ее функционирующими компонентами. Описание структурных элементов и компонентов МГЭС, их взаимоотношений должно производиться с использованием таких понятий как «структурные характеристики» и «структурные показатели». Первый термин обозначает качественные характеристики тех или иных особенностей, черт, присущих структурным элементам или компонентам: особенности формы, размера, границы раздела, формы связей и т.д. «Структурные показатели» – это структурные характеристики, описываемые с помощью количественных, математических методов.

Структура шельфовой МГЭС рассматривается геоэкологией не только как статическое понятие – своеобразная фотография, запечатлевшая данное состояние системы в данный момент времени, но и как постоянно изменяющаяся система. Изменения структуры протекают под воздействием двух главных групп факторов – внутренних и внешних.

К внутренним факторам относятся все процессы, вызывающие изменения системы, возникающие и действующие в ее пределах. Например, коагуляция, кристаллизация, минерализация органического вещества, осуществление биологических функций живого компонента и т.д.

Внешние факторы возникают вне шельфовой МГЭС и воздействуют на нее либо прямо, либо косвенно. Примером внешних факторов являются механические, химические, термодинамические, биологические и другие воздействия на систему. Внешние факторы можно, в свою очередь, разделить на две подгруппы: природные и антропогенные. К внешним природным факторам изменения структуры МГЭС относятся, например, физико-океанографические изменения параметров среды смежной МАКЭС (ее температуры, скорости и направления движения среды и др.), геологические факторы (землетрясения,

извержения вулканов и т.д.), биологические (влияние на систему гидробионтов, не входящих в ее структуру, например, взмучивание придонными животными и т.д.).

Общим для внутренних и внешних природных факторов является то, что они, как правило (исключая катастрофические явления), изменяют структуру МГЭС относительно медленно. Антропогенная деятельность, как внешний фактор воздействия на МГЭС, характеризуется относительной быстротой воздействия и большим разнообразием возможных изменений в системе. Особенно значительные антропогенные воздействия могут быть оказаны на структуру МГЭС шельфа при гидротехнических работах, донном тралении, добыче песка и других минеральных полезных ископаемых, сбросе различных жидких и твердых веществ (разгрузка очистных коллекторов, подводные свалки) и т.д. Изменения структуры в широком смысле этого понятия, особенно вызванные антропогенными факторами, могут привести в относительно короткий промежуток времени к целому ряду экологически важных изменений в свойствах МГЭС. Например, к изменениям фильтрационной способности, сопротивления механическим воздействиям, теплопроводности, физико-химических характеристик и т.д.

В основе теоретических обоснований прогноза изменений МГЭС черноморского шельфа Украины должно лежать изучение динамики их структур. Морская геоэкология, в отличие от геологических дисциплин, изучает в основном сравнительно короткие процессы изменения структуры МГЭС шельфа, имеющие реальное влияние на изменение многих экологически важных свойств (физико-механических, физико-химических и др.).

Изучая динамику структуры, следует учитывать, что МГЭС шельфа, являясь подсистемами экосферы, теснейшим образом связаны с окружающими системами как природных, так и антропогенных объектов и находятся, как указывалось выше, под воздействием разнообразных энергетических полей. Если одной из главных функций экосферы считать, как это принято, поддержание жизнедеятельности всей активной биомассы нашей планеты, то основной функцией МГЭС шельфа является поддержание нормальной жизнедеятельности активной биомассы (живого вещества) верхних слоев литосферы в их границах.

Разнообразие в пределах шельфов абиотических условий морского дна обеспечивает его биоценотическое многообразие, что позволяет проводить эффективное зонирование или районирование МГЭС шельфа. Являясь открытой системой, последняя постоянно обменивается веществом и энергией непосредственно с МАКЭС и, в меньшей степени, с МАЭС шельфа. Причем процесс этот имеет четкую направленность, т. е. МГЭС шельфа обладает наиболее выраженными аккумулятивными свойствами по сравнению с двумя другими основными ее подсистемами. Образно говоря, МГЭС шельфа является существенной частью глобального хранилища вещества и энергии, каким является верхняя часть литосферы в пределах Мирового океана, местом их утилизации,

сохраняет «память» о состоянии и многих параметрах морских сред и потоков вещества предыдущих исторических периодов нашей планеты. В частности, изучая МГЭС шельфов различного возраста, можно косвенными методами восстанавливать существовавшие в прошлом условия основных природных сред экосферы, характеризующихся другими по качеству и количеству показателями состава и свойств. В то же время, изучая древние антропогенные образования, являющиеся в настоящее время компонентами соответствующей структуры МГЭС шельфа можно определять уровень развития человеческого общества на различных этапах его истории, степень влияния на эту историю динамики экосистемы Мирового океана вообще и МГЭС шельфа, в частности.

Для современного общества интереснейшей является возможность путем изучения морских палеогеоэкосистем черноморского шельфа Украины сформировать представление о палеоэкосфере этого сегмента нашей планеты до появления факторов вмешательства человека в природные процессы. Полученные при этом данные могут быть использованы для прогноза изменений экосферы, в т. ч. под влиянием глобальных климатических колебаний или (и) регионального антропогенного воздействия и др., а также для создания моделей развития и гибели различных цивилизаций.

В заключение настоящей главы подчеркнем, что знание роли МГЭС черноморского шельфа Украины в организации экосистемы Черного моря и экосистем смежной части континента, закономерностей ее формирования, взаимоотношений с морскими аэро- и акваэкосистемами, смежными континентальными экосистемами, в первую очередь континентальной геоэкосистемой, позволяет точнее и глубже понять как природный, так и антропогенный процессы геоэкогенеза, их интенсивность и место в системе происходивших и происходящих природных и антропогенных процессов. Кроме того, более понятными и предсказуемыми станут также тенденции развития как самой МГЭС черноморского шельфа Украины, так и многих других экосистем, взаимодействующих с ней.

ГЛАВА 2

Методика и базовый материал исследований МГЭС черноморского шельфа Украины

Чрезвычайно непостоянные и разнообразные гидродинамические, гидрофизические, гидрохимические, сложные литодинамические и геохимические условия изучаемого шельфа предопределяют необходимость использования широкого спектра методов для всесторонней характеристики состояния его МГЭС.

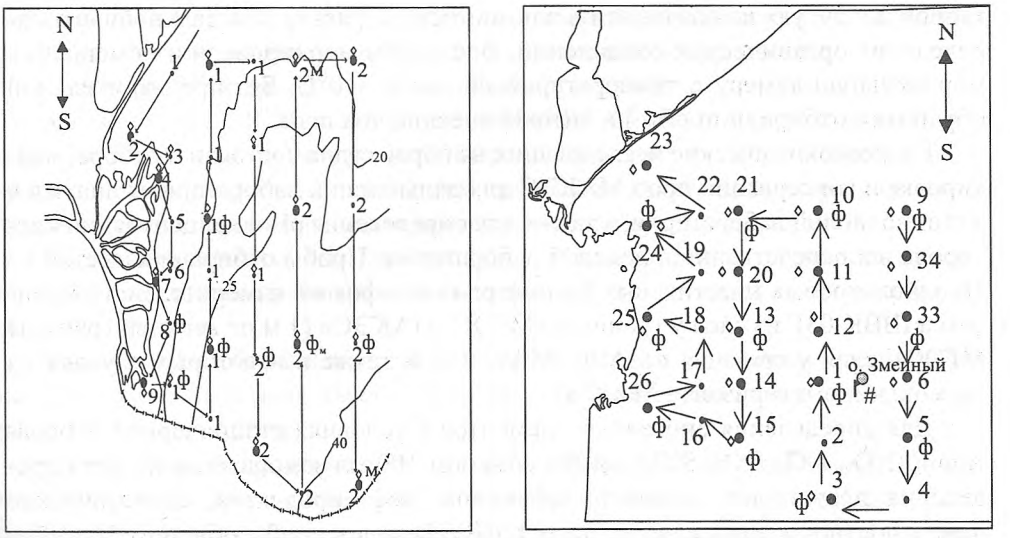
Анализ результатов исследований в области геологии, геохимии, океанологии, гидрометеорологии, гидробиологии, экологии, других научных и прикладных дисциплин, которые с той или другой стороны характеризуют особенности МГЭС черноморского шельфа свидетельствует о наличии значительного массива разноплановой информации. Исследования этой части моря выполнялись специалистами научных учреждений и производственных геологических предприятий на протяжении многих лет. В результате чего накоплен чрезвычайно большой объем информации о геологическом строении морского дна, составе его осадков, типах морских ландшафтов и их геохимических особенностях, структуре и составе толщи морских вод, их динамике, особенностях атмосферных явлений, видах морских экосистем, их современном состоянии и реакции на разнообразные загрязнители и др.

Наибольший научный вклад в изучение черноморского шельфа Украины внесли: Институт геологических наук (ИГН) НАН Украины; Морской гидрофизический институт (МГИ) НАН Украины; Украинский научный центр экологии моря (УкрНЦЭМ) Минекоресурсов; Одесский филиал Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского (ИнБЮМ) НАН Украины; Южный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанологи (ЮгНИРО); Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова (ОНУ); ГГП «Причерноморгеология»; ГНМЦ «Морэкогеология». Обобщение опубликованных результатов научно-исследовательских работ перечисленных учреждений легли в основу данной монографии.

К сожалению, не представляется возможным охватить в одной главе весь богатый арсенал полевых и лабораторных методов исследований, который использовался научными и производственными организациями, совершенствовался и дополнялся в течение нескольких последних десятилетий. В качестве примера представляем широкий и наиболее современный комплекс методов исследований, который применялся для детальной характеристики отдельных участков акватории в последние годы (рейсы научно-исследовательских судов (НИС) «Трепанг» 17 рейс (15.09–19.09.1997 г.) и 18 рейс (07.10–15.10.1997 г.), «Диорит» (27.11–06.12.1998 г.) и «Вихрь» (05.07–15.07.2002 г.).

В частности комплексные исследования аква- и геоэкосистемы придунайского шельфа выполняли специалисты ГНМЦ «Морэкогеология» в 17-м рейсе НИС «Трепанг» и декабрьском 18-м рейсе НИС «Диорит». Схемы расположения станций показаны на рисунке *а, б*.

Исследования выполняли с целью оценки: качества МГЭС, показательных экологических характеристик границ «МГЭС – МАКЭС» и «МАКЭС – МАЭС», а также организмов, входящих в ЖК МГЭС, содержания тяжелых металлов, пестицидов, полихлорбифенилов, техногенных радионуклидов, фенолов, детергентов, нефтепродуктов.



а *б*

Схемы расположения станций 17-го рейса НИС «Трепанг» (*а)* и декабрьского 18-го рейса «Диорит» (*б)*:

• – отбор проб воды для определения полного комплекса загрязняющих веществ; • – гидролого-гидрохимические измерения; ♦ – отбор проб донных осадков; ф – отбор проб фито- и зоопланктона; ↓ – галсы судна; ! – место постановки АБС; # – место постановки волнографа; м – отбор проб для мидиевого контроля

Для этого в определенные временные интервалы, непрерывно производили измерения гидрологических показателей (температуры, солености, плотности) по всей толще водной среды МАКЭС. Определяли гидрохимические характеристики водной среды МАКЭС (pH, концентрации кислорода и биогенных элементов – нитратов, нитритов, фосфатов и кремнекислоты). Исследовали литологический состав и геохимические характеристики МАКЭС (гранулометрический состав, количественное содержание и качественный состав глинистой фракции, $C_{орг}$, общее содержание органического вещества и т.д.). Изучали видовое многообразие, численность и биомассу фито-, зоо- и бактериопланктона как составляющих биологической подсистемы ЖК МАКЭС, а также и бентосных организмов как составляющих биологической подсистемы ЖК МГЭС. Исследовали энергетическое поле МАКЭС, проявляющееся в скоростях и направлениях течений, уровне границы «МАКЭС–МАЭС», и в интенсивности и параметрах волновых процессов.

Пробы донных осадков, для характеристики МГЭС отбирали дночерпателем системы «Океан-0,25». На каждой станции, поднятую пробу документировали в специальном бортовом журнале. После отбора пробы тщательно гомогенизировали и освобождали от макровключений (обломков водорослей, крупных раковин, гравия), после чего пробу делили на две части, одну из которых помещали в полиэтиленовый пакет для дальнейшего анализа на содержание металлов, а другую заворачивали в алюминиевую фольгу для дальнейшего определения органических соединений. Все пробы маркировали и помещали в морозильную камеру с температурой не выше -10^{o}C. Без предварительной обработки отбирали пробы на литологические анализы.

Гидроэкохимические исследования на борту судна состояли в отборе, маркировке и консервации проб МАКЭС для дальнейших лабораторных анализов в стационарной лаборатории, а также для определения pH и концентрации кислорода непосредственно в полевой лаборатории. Пробы отбирали кассетой из 16 однолитровых пластиковых батометров шельфового измерительного комплекса ШВК-03Г из слоя у границы «МГЭС–МАКЭС» (1 м от верхней границы МГЭС), слоя у границы «МАЭС–МАКЭС», а также в некоторых случаях из термоклинного горизонта МАКЭС.

Для определения биогенных элементов в условиях стационарной лаборатории (NO_3, NO_2, PO_4, SiO_2) пробы объемом 100 мл замораживали. Для определения пестицидов, полихлорбифенилов, нефтепродуктов, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолов пробы объемом 3 л отбирали в стеклянную тару, консервировали 10 мл гексана чда, закрывали капроновой крышкой, под которую подкладывали алюминиевую фольгу. Для определения металлов пробы воды объемом 1 л подкисляли 10 мл азотной кислоты. Все пробы сохраняли в трюме (без доступа света и перепадов температур).

На борту судна определяли pH потенциометрическим способом (иономер ЕВ-47 с хлор-серебряным электродом сравнения ЕВЛ) и концентрацию раст-

воренного кислорода модифицированным методом Винклера. Совершенные в техническом и методическом плане отбор и консервация многочисленных проб в строгом соответствии с требованиями стандарта ISO 5667/1-3 «Качество воды. Отбор проб» служили основой качественных аналитических работ.

Гидрологические работы включали беспрерывное измерение в вертикальном разрезе температуры, солености, плотности водной среды МАКЭС на каждой станции с помощью батометров ШВК-03Г. Измерения выполняли при дрейфе судна. Измерительный комплекс оснащен бортовой аппаратурой и ПК, который позволяет сохранять и визуализировать полученную информацию.

Комплекс гидрофизических работ включал: изучение оптических характеристик МАКЭС (прозрачность по глубине видимости белого диска Секки); определение цвета границы «МАКЭС–МАЭС» по шкале Фореля; измерение гидрофизических показателей на автономных буйковых станциях (АБС). На АБС устанавливали четыре измерителя течений, один струнный волнограф и один измеритель уровня границы «МАКЭС–МАЭС» (на базе датчика давления).

На борту судна проводили также гидрометеорологические наблюдения за состоянием МАЭС, (измерения температуры, давления, направления и силы потоков воздушной среды), факсимильный прием карт погоды.

Блок комплексных гидробиологических исследований включал изучение всех звеньев трофической цепи МАКЭС (бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон). Изучали указанные группы организмов в экспедиционных условиях с помощью стандартного гидробиологического оборудования.

Отбор проб бактериопланктона выполняли из кассеты батометров ШВК-03Г из приграничных с МГЭС и МАЭС слоев МАКЭС. После отбора бактериопланктон (5 мл) осаждали на мембранный нитроцеллюлозный фильтр «Sartorius» диаметром 25 мм с диаметром пор 0,2 мкм при слабом вакууме. Фильтры фиксировали в парах глютаральдегида для доставки в береговую лабораторию.

Отбор фитопланктонных проб выполняли батометрами из фотического слоя МАКЭС. Собранные пробы фиксировали формалином для дальнейшего лабораторного изучения.

Зоопланктон собирали планктонной сеткой Джеди с мельничным газом № 49 методом тотального лова. Пробы фиксировали формалином, маркировали для отправки в лабораторию.

В границах распространения мидиевого биоценоза из проб донных осадков, отобранных драгой, изымали 10 экземпляров мидий доминирующего размера (но не меньше 2 см), замораживали для лабораторного анализа мягкие части моллюсков (мидиевий контроль). В табл. 1.2.1 приведены виды исследований и методы анализа по результатам работ 17 рейса НИС «Трепанг».

Непосредственно в экспедиционных условиях устанавливали границы зон первичной и вторичной трансформации акваэкосистемы Дуная, в границах которых состояние МГЭС, МАКЭС и живых организмов их биоподсистем не удовлетворяло установленным нормам.

ТАБЛИЦА 1.2.1

Вид исследований	Количество проб	Метод анализа	Лаборатория
Определение остаточных пестицидов и полихлорбифенилов в водной среде МАКЭС	16	Газожидкостная хроматография	УкрНЦЭМ
Определение остаточных пестицидов и полихлорбифенилов в МГЭС	12	То же	То же
Определение суммы нефтепродуктов в водной среде МАКЭС	32	ИЧ- спектрофотометрия	" "
Определение суммы нефтепродуктов в МГЭС	12	То же	" "
Определение индивидуальных углеводородов и суммы ароматики в водной среде МАКЭС	32	Хромато-масс-спектрометрический, спектрофлуоресцентный	" "
Определение индивидуальных углеводородов и суммы ароматики в МГЭС	12	То же	" "
Мидиевый контроль (все перечисленные ингредиенты + тяжелые металлы)	13	Все перечисленные методы+атомно-абсорбционный	" "
Определение общей удельной активности и техногенных радионуклидов	16	Радиохимический	ІнБЮМ
Определение фенолов в водной среде МАКЭС	28	Гравиметрический спектрофотометрический	УкрГИМР
Определение СПАВ в водной среде МАКЭС	32	То же	То же
Определение тяжелых металлов в МГЭС	18	Атомно-абсорбционный	" "
Определение элементного состава МГЭС	22	Спектральный	" "
Определение общей карбонатности и органического углерода в МГЭС	16	Термолюминесцентный	" "

Рейс НИС «Диорит» состоялся с 27.11 по 06.12.1998 г. Собранный фактический материал, характеризует состояние МГЭС и МАКЭС в период гидрологической зимы (фиксировались ледовые условия). В рейсе отработан полигон, покрытый сетью станций, среднее расстояние между которыми в авандельте составляет 8 км, а в мористой части полигона – 20 км. Комплекс геоэкологических исследований включал, гидролого-гидрохимические и гидробиологические работы. Их состав был аналогичный тем, что выполнялись на НИС «Трепанг»

в 1997 г. Гидробиологические работы дополнились отбором проб организмов макрозообентоса, представляющих живой компонент МГЭС. Обработку проб макрозообентоса проводили по общепринятой методике. Животных выбирали из сита, фиксировали 10 % - ным раствором формалина, изучали под бинокуляром их количество, а затем взвешивали. Лабораторные исследования бентосной фауны выполняли на кафедре экологии биологического факультета Таврического Национального Универсистета (таксономия, численность, биомасса). Идентификацию видового состава осуществляли по определителям фауны Черного моря под бинокуляром МСБ-2. Виды исследований и методы анализа по результатам работ станций рейса НИС «Диорит» приведены в табл. 1.2.2.

Лабораторные работы включали химико-аналитические определения гидрохимических и геохимических характеристик МАКЭС, МГЭС и организмов ЖК. Лабораторные работы выполняли в сертифицированных лабораториях по аттестованным методикам. Для анализа донных осадков и мягких частей мидий пробы предварительно высушивали в вакуумном вымораживателе («Friezee dryer»), гомогенизировали и готовили точные навески на аналитических весах.

Сумму нефтепродуктов определяли методом инфракрасной спектрофотометрии на приборе UR-20 (ГДР) в соответствии с КД52.10.556 – 95 и КД52.10.243 – 92. Суть методики заключалась в экстракции нефтепродуктов из водной среды МАКЭС четыреххлористым углеродом, в колоночной очистке экстракта на оксиде аммония от полярных углеводородов и в измерении интенсивности поглощения экстрактом в ближней ИК-области спектра (3410 нм). Чувствительность определения 0,02 мг/дм^3. Стандартом для калибрования UR-20 служила смесь Симарда (изооктан + гексадекан + бензол).

Сумму ароматических углеводородов определяли в соответствии с «Методическими указаниями по определению токсичных загрязняющих веществ в морской воде на фоновом уровне» № 45, а также Reference Methods № 20 IOC/IAEA 1992, и методом спектрофлуориметрии на спектрофлуориметре корректированных спектров SPF-500 «Aminco» (США). Расчет концентрации выполняли по отношению к стандартам двух типов: 1 – ароматический углеводород хризен; 2 – международный стандарт для анализа нефтепродуктов спектрофлуориметричным методом «Ropme». Измерения на флуориметре выполняли при длинах волн возбуждения/эмиссии 310/360 нм.

Хлорорганические пестициды и полихлорбифенилы определяли методом газожидкостной хроматографии на хроматографе MEGA 2 HRGC 8560 с капиллярной колонкой и ДЕЗ (Fisons instruments, Франция) в соответствии с «Методическими указаниями по определению токсичных загрязняющих веществ в морских донных осадках» № 43, и КД 52.10.243 – 92. Расчет концентраций ХОП выполняли по отношению к стандартной смеси индивидуальных хлорорганических пестицидов. Сумму ПХБ рассчитывали по отношению к двум последовательным стандартам – Ar-1254 (смесь 11 индивидуальных ПХБ) и Ar-1260 (смесь 9 и более высокомолекулярных ПХБ).

ТАБЛИЦА 1.2.2

Вид исследований	Количество проб	Метод анализа	Лаборатория
Определение pH МАКЭС и МГЭС	87	Потенциометрический	На борту судна
Определение растворенного кислорода в водной среде МАКЭС	90	Метод Винклера	То же
Определение биогенов (NO_2, NO_3, PO_4, Si_2) в водной среде МАКЭС	90	Колориметрический	МГИ НАНУ
Определение тяжелых металлов в воде в водной среде МАКЭС	17	Атомно-абсорбционный	УкрГИМР
	4	То же	УкрНЦЭМ
Определение тяжелых металлов в МГЭС	19	" "	УкрГИМР
	2	" "	УкрНЦЭМ
Определение фенолов в водной среде МАКЭС	17	Спектрофотометрический	УкрГИМР
	4	То же	УкрНЦЭМ
Определение СПАВ в водной среде МАКЭС	17	" "	УкрГИМР
	4	" "	УкрНЦЭМ
Определение нефтепродуктов в водной среде МАКЭС	38	ИЧ-спектрофотометрия	То же
Определение нефтепродуктов в осадках	19	То же	" "
Определение суммы ароматических углеводородов в водной среде МАКЭС	38	Спектрофлуориметрический	То же
Определение ХОС в водной среде МАКЭС	24	Газожидкостная хроматография	УкрНЦЭМ
Определение ХОС в МГЭС	18	То же	То же
Определение фенолов в МГЭС	19	Спектрофотометрический	УкрГИМР
	2	То же	УкрНЦЭМ
Определение СПАВ в МГЭС	19	" "	УкрГИМР
	2	" "	УкрНЦЭМ
Мидиевый контроль (ТМ, ХОП, ПХБ, индивидуальные углеводороды)	3	Спектрофлуориметрический, газожидкостная хроматография, спектрофотометрический, масс-спектрометрический	УкрНЦЭМ
Анализ бентосной фауны – живого компонента МГЭС	19	Стандартные гидробиологические методы	ТНУ
Анализ планктона – живого компонента МГЭС	7	То же	ИнБЮМ

Индивидуальные углеводороды нефтяного происхождения определяли методом хромато-масс-спектрометрии на приборе GC/MS с масс-спектрометром MD 800 «Fisons instruments» (Франция) и на хроматографе GC – 8060 с капиллярной колонкой. Анализ выполняли в соответствии со стандартом UNEP «Determination of petroleum hudrocarbons in sediments», «Reference Methods for Marine Pollution Studies» № 20 IOC/IAEA 1992. Для калибрования прибора использовали стандартную смесь SE-52 MESL IAEA, в состав которой входили 34 индивидуальных углеводорода (алифатичных и ароматических).

Исследования проб мидий на содержание металлов выполняли методом атомной абсорбции на безпламенном атомно-абсорбционном спектрофотометре AA8-808 «Varian» (США) с графитовой печкой GTA-100 и ртутной приставкой VGA-77. Пробоподготовки и анализ выполняли согласно «Reference Methods...» № 7 и № 63 UNEP/FAO/IAEA/IOC. Как стандарты использовали индивидуальные стандартные растворы металлов фирмы Merck, Standart Reference Material (SRM) – BCSS-1.

Фенолы определяли по ГОСТ 26449.1 – 85. Летучие фенолы отгоняли с водным паром и окисляли в щелочной среде сернокислым аммонием. Продукты окисления при взаимодействии с 4-антипирином дают красные антипирина красители, которые экстрагировались хлороформом. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре СФ-26. Нижняя граница определения составляла 1 мкг/дм^3.

СПАВ определяли на приборе СФ-26 по «Методике экстракционно-фотометрического определения анионных ПАВ с метиленовой синью в естественных и сточных водах», КНД 211.1.4.017 – 95.

Тяжелые металлы (Cr, Cu, Pb, Cd, Hg) определяли в донных осадках методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией на приборе «Хитачи Z 700» в соответствии с НСАМ 341-ХС «Атомно-абсорбционное определение токсичных тяжелых металлов в грунтах и донных осадках».

Элементный состав определяли спектральным приближенно-количественным методом. Анализ органического углерода в осадках выполняли из воздушно-сухой навески породы методом Тюрина в модификации Орлова и Гришиной.

Гранулометричный анализ твердого компонента МГЭС донных осадков выполняли на стандартном наборе сит. Зернистую часть в интервале крупности от 0,25 до ±0,04 мм фракционировали по плотности в тяжелых жидкостях. Выделенные минеральные фракции определяли под микроскопом с привлечением иммерсии. Массовые доли минералов определяли расчетным путем с учетом выхода фракций. Фракцию менее 0,04 мм исследовали термическим и инфракрасным спектральным методами.

Для определения нитритов использовали колориметрический метод с сульфаниловой кислотой и альфа-нафтил-амином, который базируется на способности первичных ароматических аминов в присутствии азотистой кислоты давать интенсивно выкрашенные диазосоединения. Окраску сравнивали с ок-

раской раствора с известным содержанием нитритных ионов на приборе КФК. Чувствительность метода 0,5 мкг/дм³, погрешность – 3–5 %.

Метод определения нитратов базируется на восстановлении нитратов металлическим кадмием до нитритов и на дальнейшем определении нитритов с реактивом Грисса-Плосцая. Чувствительность метода – 10 мкг нитратного азота в 1 л, погрешность – 5 %.

Для определения фосфатов применяли колориметрический метод, основанный на образовании комплексной фосфоро-молибденовой кислоты. Эта кислота в сильнокислом растворе восстанавливается аскорбиновой кислотой в присутствии сурьмяно-виннокислого калия к голубому фосфорно-молибденовому комплексу. Содержимое фосфатов определяли по калибровочной кривой. Погрешность метода 8–10 %, чувствительность 0,003 мг Р/л.

Все анализы по определению выше перечисленных соединений выполняли согласно стандартным опубликованным методикам. Определение металлов в пробах воды выполняли согласно КД52.10.243. – 92 атомно-абсорбционным методом на приборе «Хитачи Z 700». Лабораторные исследования планктонных организмов также выполняли по опубликованным стандартным методикам. Пробы зоопланктона обрабатывали по общепринятой счетно-массовой методике. При определении биомассы использовали характеристики массы, полученные Т.С. Петипа. Пробы бактериопланктона на мембранных фильтрах окрашивали карболовым эритрозином и просчитывали с использованием микроскопа МБИ-11, оснащенного фазово-контрастным устройством при увеличении х 1350 (масляная иммерсия). Пробы фитопланктона сгущали с использованием метода обратной фильтрации через нуклеопоровые лавсановые фильтры диаметром 90 мм с диаметром пор 1,0 мкм без вакуума. Сгущенные пробы фиксировали раствором Люголя, а потом формальдегидом и доставляли в береговую лабораторию, где обрабатывали тотально в камере Горяева с использованием микроскопа Amplival, при увеличении от х 400 до 1350.

Радиохимические исследования выполняли на гамма-спектрометре на основе многоканального анализатора импульсов с прецизионным полупроводниковым детектором «Canberra» GCW 2022 согласно стандарту МАГАТЭ IAEA/AL/046.

Обработка и анализ материалов. Обработка информации включала визуальный обзор, разбраковку и подготовку необходимых данных для обработки на ПК, статистический и корреляционный анализ (выполненный в пакете STATISTICA программы Excel), построение графиков, диаграмм, плоскостных интерполяций или экстраполяций, построение монокомпонентных, поликомпонентных и синтетических карт (Excel, Surfer, Grafer, Mapinfo, Arc Wev).

В результате анализа установлены типологические параметры геохимических ландшафтов, естественная и техногенная составляющие геохимических полей, уровни загрязнения экосистем, локализация всех загрязняющих веществ, связь биоорганизмов ЖК с геохимическими особенностями МГЭС и МАКЭС, трансформация загрязненной акваэкосистемы Дуная, миграционные потоки в границах полигона.

Следует отметить, что обработка информации базировалась на параметрическом подходе к описанию естественных зон, при котором учитываются характеристики основных факторов (биогенного, физико-химического и механического) геохимической миграции элементов. Такой подход позволяет описать и геохимически охарактеризовать не только отдельные компоненты МГЭС и МАКЭС (организмы их ЖК, водную среду МАКЭС и геологическую среду, включая жидкий компонент, МГЭС), но на основе системно-матричного анализа и построений типизировать и описать их закономерные комплексы – геоэкосистемы, проявляющиеся, в частности, в соответствующих геохимических ландшафтах. Эти геоэкосистемы представляют собой однородные естественные комплексы черноморского шельфа Украины и характеризуются определенными взаимосвязями между их структурными компонентами и основными факторами геохимической миграции вещества и информации [6]. При исследовании нестабильных природных и техногенных геоэкотонных зон (например, предустьево-авандельтовых), чрезвычайно ценными являются обобщающие возможности метода, которые разрешают оперировать не множеством характеристик МАКЭС и МГЭС, а их определенными интегральными показателями.

ГЛАВА 3

Расположение пунктов наблюдательной сети и обоснование изучаемых характеристик МГЭС и МАКЭС черноморского шельфа Украины

Успешные решения проблем геоэкологического мониторинга черноморского шельфа Украины невозможны без комплексного подхода к экспериментальному изучению естественных объектов, которые объединяют специалистов разных профилей: морских экологов, геологов, гидрофизиков, геофизиков, гидрохимиков и гидробиологов.

Организация и проведение такого мониторинга включает: создание системы наблюдений за состоянием и динамикой изменения геоэкологических параметров и свойств МГЭС и ее подсистем; исследование характера, форм и тенденций изменения антропогенной нагрузки на МГЭС и ее подсистемы; разработку научно-методического обеспечения геоэкологических исследований в шельфовых зонах; испытание новых технологий и приборов для геоэкологических исследований; создание моделей и методик оценки последствий антропогенного изменения МГЭС и ее подсистем.

Система «мониторинга» как система получения необходимой информации, была предложена в 1971 г. экспертами специальной комиссии СКОПЕ (Научный комитет по проблемам окружающей среды) и Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (Стокгольм, 5–16 июня 1972 г.). С тех пор были разработаны и введены разнообразные модификации такой системы, направленные на выявление влияния на окружающую естественную среду отдельных загрязнителей. На протяжении последних десятилетий сама концепция системы мониторинга также испытала изменения в связи с требованиями к охране окружающей среды, которые регулярно расширяются и видоизменяются.

Теоретическое обоснование структуры и задач экомониторинга МГЭС сводится к необходимости создания: 1. Системы наблюдений, регистрации, сбора и анализа комплексной информации о состоянии подсистем твердого, жидкого, газового и живого компонентов МГЭС; системы научно обосно-

ванного периодического восстановления информации с целью выявления и изучения динамики изменения состояния МГЭС и его подсистем; 2. Выявления общих закономерностей изменения состояния МГЭС и моделирования ситуаций; 3. Регистрации, изучения и оценки показателей антропогенного влияния и трансграничных переносов загрязнителей для оконтуривания районов МГЭС, на которые действуют антропогенные нагрузки; 4. Установления критериев оценки степени антропогенного влияния на МГЭС и геоэкологического районирования акватории; 5. Интерполяция и экстраполяция полученных в процессе работы данных на подобные районы акватории с естественными аналогичными процессами и подобными параметрами МГЭС, реагирующих адекватно на антропогенные нагрузки.

Реализация этих задач в рамках геоэкологического мониторинга акватории возможна при соблюдении следующих принципов [8].

Принцип единства целей. Разнообразие разных подходов, определение параметров наблюдений, форм подачи информации и его первичной обработки требует координированного подхода в организации общего понятийного базиса, научно-методических и практических разработок в рамках единой целевой программы. Основным и приоритетным направлением морских геоэкологических исследований служит изучение экологического состояния МГЭС и ее подсистем. Таким образом, мониторинг должен осуществляться на базе морской геоэкологии, как наиболее соответствующего научного и практического направления, отвечающего целевой программе оценки состояния, контроля за изменением параметров и управления МГЭС и ее подсистем. Методология других наук и информация, получаемая в ходе комплексных морских геоэкологических исследований, также должна широко использоваться, но как подчиненная.

Принцип иерархичности. Структура экосферы чрезвычайно сложна и состоит из огромного количества организованных взаимообусловленных и взаимосвязанных системных компонентов. Отдельные части таких компонентов подсистем являются самостоятельными экологическими или другими системами более низкого ранга, или подсистемами (морфологическими, каскадными системами, системами типа процесс – отклик, управленческими системами и др.).

Решение вопроса изучения отдельных систем (подсистем) должно входить в иерархию общей системы мониторинга. При этом должен осуществляться логически обоснованный выбор видов морских геоэкологических исследований. Уровень подачи информации обусловлен рангом подсистемы и должен рассматриваться как критерий дифференциации этапов морских геоэкологических исследований.

Принцип комплексности – комплексирование научно-методических подходов, разработок и практической реализации управленческих решений. Система мониторинга МГЭС и ее подсистем объединяет мониторинг взаимозависимых компонентов МГЭС (биотических и абиотических). Комплексирование методов, формирование наиболее рационального комплекса методических приемов

позволяет выполнить оценку экологического состояния МГЭС и ее подсистем, наиболее приближенную к реальности.

Принцип альтернативности. Единая концепция мониторинга осуществляется с учетом особенностей сезонного изменения состояния МГЭС. Резкие изменения гидрометеорологических условий, гидрологических и гидрохимических особенностей МАКЭС и т.д. требуют применения альтернативных подходов к методикам геоэкологических исследований для моделирования вариаций состояния МГЭС и (или) МАКЭС.

Принцип системности. МГЭС рассматривается как сложная природная система, а ее отдельные пространственные единицы (участки, районы, области), твердый, жидкий, газовый и живой компоненты – как ее подсистемы. Применение системного подхода объединяет разные виды морских геоэкологических режимных наблюдений (мониторинга): аэрокосмических, гидрогеологических, гидрологических, гидрохимических, гидробиологических, гидрофизических, геохимических, литохимических, геодинамических, гидрометеорологических и других в рамках единой системы экологического мониторинга природных, природно-антропогенных МГЭС.

Исследования по программе мониторинга должны включать: исследование формирования и трансформации гидрологических и гидрохимических полей МАКЭС, установление источников и ареалов распространения ее загрязнений, акваэкологическое районирование; геоэкологическое районирование дна акватории по характерным параметрам: элементам рельефа границы «МГЭС–МАКЭС», (геоморфологическое районирование), литологическим (гранулометрическим) и гидрогеохимическим (кислород, биогены, сероводород, температура, соленость) характеристикам, кислотно-щелочным и окислительно-восстановительным условиями, распространению доминирующих и сопутствующих форм зообентоса (численность, видовое разнообразие, биомасса) и др.; картирование МГЭС на основе ландшафтно-геоморфологических параметров; оценки загрязнения МГЭС и МАКЭС тяжелыми металлами (Cu, Pb, Cr, As, Zn, Cd, Hg), токсичными соединениями (СПАВ, пестицидами, полихлорбифенилами, нефтяными углеводородами, фенолами, радионуклидами, цианидами). Концентрация вредных веществ в МГЭС и МАКЭС определяется посезонно на основании данных, полученных при изучении соответствующих проб; наблюдение и контроль за формированием и трансформацией МАКЭС, динамикой ее твердого и живого компонентов, волновыми процессами; биогеохимические исследования организмов, входящих в ЖК МГЭС и (или) МАКЭС, в первую очередь мидий, микроорганизмов и др.; составление геоэкологической карты черноморского шельфа Украины. Она должна содержать сведения о гидрографических, геоморфологических, гидролого-гидрохимических и биологических элементах, а также данные о комплексе загрязняющих компонентов; проведение инженерно-геоэкологических и сейсмогеофизических исследований.

При выборе станций сети мониторинга учитываются результаты исследований геохимических особенностей МГЭС, гидрохимических, гидрофизических особенностей МАКЭС, гидробиологических особенностей МГЭС и МАКЭС и т.д. Расположение станций увязывается с особенностями влияния речной аквальной экосистемы, потоками водной среды и других компонентов МАКЭС и их сезонной изменчивостью. Частота расположения станций определяется масштабом исследований. Как показывает опыт, для масштаба 1 : 500 000 можно рекомендовать сеть наблюдательных станций, среднее расстояние между которыми в придельтовых, припортовых, лиманных частях акватории составляет 8 км, а в ее мористой части – 20 км (рисунок).

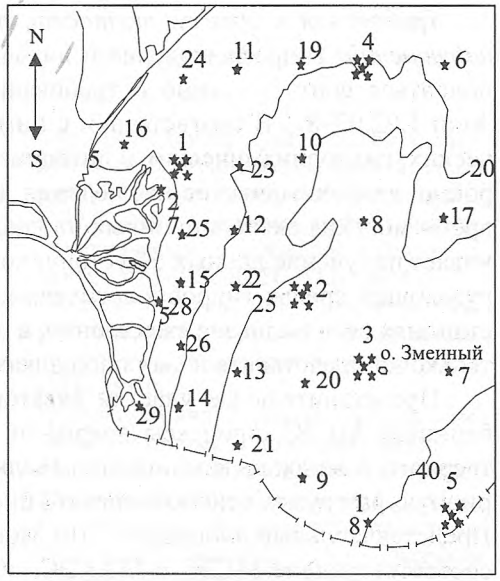


Схема размещения станций мониторинга:
★ – станции мониторинга и их номера

Соответственно вышеизложенному, в структуру комплексного геоэкологического мониторинга рекомендуется включить станции четырех типов: комплексного мониторинга, на которых изучаются отклики экосистем на смену качества окружающей среды, ведутся наблюдения за МГЭС и МАКЭС, а также за экосистемой черноморского шельфа Украины в целом. Эти станции располагаются на представительных площадках с целью изучения общего баланса массообмена экосистемы и оценки ее состояния в целом; комплексного мониторинга отдельных экосистем (МГЭС, МАКЭС, МАЭС и их подсистем, а также геоэкотонов, в частности границы «МГЭС – МАКЭС»; гидрологического мониторинга (наблюдение ведутся за термохалинной структурой МАКЭС и динамикой ее твердых, жидких и газовых (кислород) терригенных и биогенных компонентов); станции наблюдательных створов в устьях рек, которые по набору наблюдательных параметров относятся к станциям мониторинга системы граница «МГЭС – МАКЭС» плюс ряд биотических показателей.

При размещении станций наблюдений должны использоваться следующие принципы: приуроченность пунктов к наиболее представительным участкам псевдолиторальных, придельтовых, лиманных, сублиторальных и элиторальных частей МГЭС, располагающихся в зонах антропогенного влияния; наблюдения должны охватывать максимально возможное количество типов МГЭС и МАКЭС и соответствующих им ландшафтных систем, а также максимальное число исследуемых параметров.

Требования к объему, точности, продолжительности и периодичности наблюдений: гидрофизические и литодинамические наблюдения должны выполняться соответственно с требованиями работы [9], Инструкции ПГС-4, Знип 1.02.07–87. В соответствии с ними, фиксация параметров метеорологических, гидродинамических и литодинамических процессов проводится синхронно; гидрохимические наблюдения должны выполняться ежеквартально во время морских экспедиционных площадных и профильных работ, что обеспечивает получение данных об устойчивости сезонных изменений состояния окружающей среды; гидробиологические наблюдения должны выполняться на станциях сети полигона ежесезонно, а отбор проб мидий (мидиевый контроль) только на представительных площадках – ежеквартально.

Представительные участки акватории наиболее полно отображают особенности МГЭС, процессы энерго- и массообмена между подсистемами ее твердого и жидкого компонентов (включая восходящие потоки газов, субмаринную разгрузку, сейсмоэнергию), биотические подсистемы и их состояние. Представительные площадки – это экосистемы акватории, которые включают соответствующие МГЭС и МАКЭС, образовавшие целостную экосистему со специфическими особенностями биотических и абиотических, живых и неживых, твердых, жидких и газообразных компонентов, которые образовались в определенных геологических, геохимических и гидрохимических условиях.

Выбор этих участков проводится с учетом: направлений и расположения путей транспортирования материала выносов рек и аккумуляции в прибрежных акваториях загрязняющих веществ; оценки состояния подсистем твердого и жидкого компонентов и динамики распространения поллютантов; интенсивности развития геологических процессов (литодинамических, геодинамических, геохимических); гидрофизических, гидрологических, гидробиологических особенностей акватории; геофизических и инженерно-сейсмогеологических особенностей территории.

В границах представительных площадок целесообразно располагать 5 станций (по углам квадрата и в центре), расстояние между угловыми станциями 2 км. На любой из них рекомендовано проводить комплекс исследований параметров в процессе мониторинга в соответствии с таблицей. В дальнейшем, на основании результатов исследований выполнять картографические построения микромасштабного характера и проводить осреднения для мезомасштабных построений.

Приборная база мониторинга должна включать: дночерпатели, вибропоршневые и прямоточные трубки, драги, седиментационные ловушки, измерители течений, метеорологические зонды, гидролого-гидрофизические измерительные комплексы, буи, реперы и якорные линии для установки автономных буйковых и донных станций; автономные волномерные приборы, измерители уровня моря, радионавигационную аппаратуру DGPS, химическую лабораторию, датчики и блоки накопления информации.

Наименование пунктов режимной сети	Наблюдаемый объект	Наблюдаемые параметр и показатель
Представительные площадки	МАКЭС (стандартные горизонты водной среды)	Соленость, температура, плотность, прозрачность, биогены, растворенный кислород, БСК, сероводород, тяжелые металлы, СПАВ, фенолы (сумма), нефтяные и полициклические углеводороды (покомпонентно и сумма), ХОП, ПХБ, цианиды
	Взвешенный компонент МАКЭС	Тяжелые металлы, СПАВ, фенолы (сумма), нефтяные и полициклические углеводороды (покомпонентно и сумма), ХОП, ПХБ, цианиды
	МГЭС	Гранулометричний состав, тяжелые металлы, нефтяные и полициклические углеводороды (покомпонентно и сумма), фосфаты в иловых водах, сера, $C_{орг}$, $C_{общ}$, радионуклиды, 42 элемента (спектральный анализ), элементы I класса опасности (атомно-абсорбционный анализ)
	Живое вещество МАКЭС (фито-, зоопланктон) и МГЭС (бентос, мидии)	Биомасса, видовое многообразие, биохимические показатели мидий
Наблюдательные створы	МАКЭС (стандартные горизонты водной среды)	Аналогично представительным площадкам
	МГЭС	То же
Комплексные станции мониторинга границы "МАКЭС – МГЭС"	МАКЭС (стандартные горизонты водной среды)	Соленость, температура, плотность, прозрачность, биогены, кислород, сероводород, тяжелые металлы, СПАВ, фенолы, НВ (сумма), ХОП, ПХБ
	МГЭС	Тяжелые металлы, ХОП, ПХБ, СПАВ, НВ (сумма), 42 элемента (спектральный анализ), элементы I класса опасности (атомно-абсорбционный анализ)
Станции мониторинга МАКЭС	МАКЭС (стандартные горизонты водной среды)	Температура, соленость, плотность, прозрачность, биогены, кислород, сероводород

С учетом всех вышеозначенных факторов, сеть расположения станций геоэкологического мониторинга МГЭС черноморского шельфа Украины должна быть близкой к ортогональной. Это разрешит выполнять пространственно-привязанную обработку полученной информации (с обязательной логико-экспертной фильтрацией данных), используя, современные ГИС-технологии.

Ниже, в качестве примера, приведены обоснования системы геоэкологического мониторинга для района придунайского шельфа (одной из наиболее загрязненного на Черном море).

Важным источником информации относительно состояния МГЭС есть данные, полученные на *представительных площадках* – участках акватории со специфическими особенностями биотических и абиотических компонентов экосистем, которые сформировались в определенных геологических, геохимических и гидрохимических условиях. Выполнение комплекса режимных наблюдений на таких площадках разрешит оценить изменения экологического состояния всех компонентов экосистемы и при ограниченном количестве промежуточных станций адекватно экстраполировать полученные результаты на акваторию полигона, учитывая при этом специфику геологических, геохимических, гидрохимических, гидрологических и других условий. В соответствии с этим предлагаются следующие площадки:

Площадка № 1 расположена в авандельте р. Дунай (район Очаковского устья) на изобате 15 м в зоне слаботрансформированной водной среды акваэкосистемы. В результате интенсивного поступления техногенных поллютантов с речным стоком здесь отмечается максимальное загрязнение аква- и геоэкосистем различными веществами, включая радионуклиды. Векторы градиентов концентраций направлены в сторону Очаковского устья, а их скалярное значение свидетельствует о реализации в районе площадки геохимического барьера река – море. Геоэкосистема донных осадков представлена сильно загрязненными глинистыми мягкопластичными илами. Площадка расположена в зоне лавинной седиментации в границах кислородно-глеевого ландшафта. Живой компонент характеризуется бедностью видового состава и значительными колебаниями биомассы по сезонам. В биоценозе бентоса доминируют полихеты *Nereis*. Площадка характеризует состояние МГЭС в авандельтовой части полигона.

Площадка № 2 расположена в 20 км от береговой линии дельты Дуная возле изобаты 25 м в зоне трансформированной водной среды МАКЭС. На состояние МГЭС этой части полигона в равной мере влияют речные воды и струи Основного Черноморского течения (ОЧТ), которые наблюдаются при антициклонической циркуляции на северо-восточной части акватории. Здесь наиболее вероятно формирование гипоксийных явлений вследствие значительного многообразия видового состава фитопланктона и периодического эвтрофирования водной среды МАКЭС речным стоком. По ландшафтно-геохимическим условиям площадка расположена в области транспорта с частичной аккумуляцией. Твердый компонент МГЭС представлен илистым детритом, биосистема – мидиевым биоценозом. Такие взаимоотношения геологической среды МГЭС и биосистемы являются типичными для большей части полигона между авандельтой Дуная и о. Змеиный.

Площадка № 3 расположена в 3 км к западу от о. Змеиный на изобате 30 м. Район расположения площадки характеризуется, в первую очередь, сложным микро- и мезорельефом границы «МГЭС – МАКЭС», что обусловлено близостью русла палео-Сараты. Здесь образовались сложные объединения желобов, локальных возвышенностей, преклонных террас и соответственно значи-

тельная фациальная изменчивость вещественно-генетического состава твердого компонента МГЭС – от галечников к илам, при неизменном содержании раковинно-детритового материала. В этом районе часто наблюдается гипоксия в придонном слое МАКЭС, особенно на участках, приуроченных к локальным депрессиям. Причем доминирующие массы водной среды этого района МАКЭС связаны с черноморскими водами МАКЭС открытых районов. Площадка расположена в зоне МГЭС, где ЖК представлен в основном мидиевым сообществом. Планктонные сообщества смежных участков МАКЭС представлены типично морскими видами. Площадка характеризует состояние МГЭС мористой части полигона в районе о. Змеиный и долины палео-Сараты.

Площадка № 4. Расположена в мористой части полигона за изобатой 40 м. Расстояние до береговой линии дунайской дельты – 50 км. Доминирующее влияние имеет ОЧТ и трансграничные переносы. Твердый компонент МГЭС представлен илами раковинно-детритовыми, а ЖК – мидиевым сообществом организмов. Площадка характеризует состояние МГЭС в квазиприродных условиях шельфа.

Площадка № 5. Расположена в северной части полигона в районе изобаты 20 м. Периодически здесь отмечается вторжение аквальной среды из района МАКЭС, соответствующего Днепровско-Днестровскому межречью, которая привносит значительное количество загрязняющих компонентов в соответствующий полигону район МГЭС. Площадка находится в геохимической области транспорта, твердый компонент МГЭС представлен песками детритовыми с минимальными сорбционными свойствами. Характерный организм ЖК – мидия. Площадка характеризует степень влияния загрязненной акваэкосистемы Днепра и Днестра на соответствующий полигону район МГЭС черноморского шельфа.

Любая из перечисленных площадок охарактеризована наблюдательными станциями, расположенными по «конверту», расстояние между угловыми станциями – 2 км. На каждой станции проводятся максимально полные развернутые наблюдения и опробование всех компонентов МГЭС.

Между представительными площадками расположены *комплексные станции мониторинга геоэкотона границы «МГЭС – МАКЭС»*. Учитывая сложный характер океанологических, геохимических, гидрохимических полей в зоне сублиторальной МГЭС, особенно на ее границе с континентальной МГЭС, и с целью адекватной экстраполяции данных по представительным площадкам на подобные геохимические ландшафты, необходимо проведение наблюдений на ограниченном количестве промежуточных станций, расположенных по ортогональной сети, но с учетом характера изменчивости ландшафтно-геохимической ситуации.

В соответствии с ранее приведенными принципами и концепцией мониторинга, на комплексных станциях мониторинга системы вода – дно должен выполняться сокращенный комплекс наблюдений за основными загрязняющими МГЭС и МАКЭС веществами и параметрами (только на стандартных горизон-

тах МАКЭС и МГЭС). В придельтовой части полигона такие станции расположены на расстоянии ≈8 км по простиранию дельты и ≈10 км в крест простирания. Всего 11 станций.

Как дополнение между ними расположены *станции гидрологического мониторинга*, основная задача которых – наблюдение за термохалинной структурой МАКЭС и динамикой биогенных элементов и кислорода. Всего 10 станций гидрологического мониторинга.

Таким образом, полигон покрыт сетью наблюдательных станций и представительных площадок, среднее расстояние между которыми в придельтовой части составляет 8 км, а в мористой части полигона – 20 км.

Кроме перечисленных, необходимо расположить *наблюдательные станции* в устьях Старостамбульского, Очаковського и Новостамбульского рукавов (центральная часть дельты). На станциях, расположенных в наиболее крупных устьях изучается состав нетрансформированных потоков водной среды аквальной системы реки, а в центральной части – фильтрующее влияние ее дельтовых аквальных экосистем.

ГЛАВА 4

Морские геоэкологические экспедиционные исследования

При выполнении морских экспедиционных геоэкологических исследований (съемок) необходимо учитывать, что движение судна должно быть направлено вкрест доминирующих ландшафтных градаций, океанологических полей и навстречу распространению трансформированного потока речной акваэкосистемы. Навигационная привязка станций выполняется судовыми приборами спутниковой системы Global Position Sistem (GPS). Существующие навигационные приборы обеспечивают точность положения судна в границах ±25 м, что для целей геоэкологии (учитывая масштаб и изменчивость исследуемых параметров, процессов и явлений) является допустимым. В случае необходимости более точной привязки может применяться дифференционная система DGPS.

Геоэкологические исследования. Граница «МГЭС–МАКЭС» своими физическими и химическими свойствами во многом определяет структуру живого вещества биологической подсистемы МГЭС. По физическим характеристикам указанной границы можно судить о характере и динамике современных геоэкологических и геоэкологически значимых процессов как в МГЭС, так и в МАКЭС. Кроме того, интенсивность и уровень накопления загрязнителей также зависят от компонентного, в частности, литологического состава геологической среды МГЭС, ее водно-физических, физико-механических и геохимических свойств. В силу вышесказанного МГЭС рассматривается как основной объект морских геоэкологических исследований.

Основными задачами геоэкологических работ в ходе геоэкологического мониторинга есть: изучение рельефа (батиметрии) современной границы «МГЭС–МАКЭС» в границах акватории с целью оценки ее динамики и создание батиметрической основы соответствующего масштаба; выяснение локальных особенностей морфологии современной границы «МГЭС–МАКЭС» с целью геоэкологического и ландшафтно-

геохимического районирования; изучение литологического состава твердого компонента МГЭС и ее разреза с учетом зон унаследованного тектонического влияния, зон сжатия и возможных деформаций коренных пород, а также сейсмичности; палеонтологические макро-и микрофаунистические, а также палинологические исследования с целью уточнения возраста МГЭС и условий ее формирования; изучение минералогического состава твердого компонента МГЭС, в т. ч. с целью определения емкости поглощения сорбционного геохимического барьера; определение фоновых геохимических характеристик, изучение геохимических особенностей МГЭС и палеоМГЭС разного возраста, выделение техногенных геохимических аномалий; определение условий седиментации и физических свойств границы «МГЭС–МАКЭС» путем изучения физико-механических свойств донных отложений; изучение влияния техногенных факторов на процесс формирования и развития МГЭС; геоэкологическое и ландшафтно-геохимическое районирование и выделение зон техногенного загрязнения и заиления, а также возможного существования естественных геопатогенных зон; изучение МГЭС в геодинамическом (инженерно-сейсмогеологическом или сейсмогеофизическом) аспекте; изучение количественной и качественной динамики загрязняющих веществ на границе «МГЭС–МАКЭС».

Для выяснения особенностей компонентной структуры МГЭС и ее пространственной изменчивости по латерали и вертикали, ее литологического и минералогического составов, части техногенного вещества в общем геохимическом спектре МГЭС, проводятся комплексные геологические исследования всех типов и видов МГЭС, встреченных на станциях мониторинга.

Пробы донных отложений и взвеси для характеристики МГЭС и МАКЭС отбираются и изучаются в соответствии с ГОСТами и стандартами.

В практике морских геоэкологических исследований для отбора проб донных осадков применяются: зондирование грунтовыми трубками, отбор проб дночерпателями, с помощью драг.

Грунтовыми трубками отбирают колонки донных осадков. На глубине моря 70 – 80 м целесообразно использовать грунтовые вибропоршневые трубки (типа ВПГТ – 59 конструкции Кудинова, ПЭВ-4 и др.). Длина трубки – 4 м, длина керна – до 3,8 м, диаметр трубки 108 мм. Преимущество применения грунтовых трубок заключается в возможности изучения разреза верхней части донных отложений. Такие исследования необходимо проводить на начальных стадиях мониторинга, а также по мере возникновения и необходимости решения отдельных вопросов геологии, геохимии и геоэкологии.

При сезонных наблюдениях на наблюдательных станциях пробоотбор выполняется с помощью дночерпателей (грейферов) типа «Океан – 0,25», Петерсена и др. Глубина отбора донных осадков для дночерпателя «Океан – 0,25» составляет 0,25–0,30 м, что достаточно для оценки состояния МГЭС у границы с МАКЭС. Через обзорное окно в дночерпателе «Океан» описывается поверхность осадка, при наличии «наилка» из него отбираются пробы. Далее че-

рез окна короткой пробоотборной трубкой диаметром 70–100 мм отбирают несколько колонок донных осадков на все виды исследований.

К преимуществам получения проб донных отложений с помощью дночерпателя можно отнести значительный объем поднятого материала, который разрешает, в свою очередь, отобрать достаточное количество проб необходимого объема для различных аналитических исследований.

Геохимические исследования являются основной составляющей частью геоэкологических исследований. Метод ландшафтно-геохимических исследований базируется на строго параметрическом подходе к описанию естественных зон, при котором учитываются характеристики основных факторов (биогенных, физико-химических и механических) геохимической миграции элементов, которые формируют геохимические поля. Такой подход разрешает геохимически описать и охарактеризовать не только отдельные компоненты МГЭС и МАКЭС (ЖК, жидкий компонент, воду, взвесь, донные осадки, иловые растворы), но на основе системно-матричного анализа и построений типизировать и описать их закономерные комплексы – МГЭС.

При исследовании нестабильных естественных и техногенных экотонных зон (например, предустьево-авандельтовых) чрезвычайно ценными являются обобщающие возможности указанного метода, которые позволяют оперировать не множеством характеристик водной и геологической сред, а их системными показателями и эмерджентными свойствами.

Геохимические исследования на основе предложенного пробоотбора предусматривают: исследование типологических геохимических параметров МГЭС с целью выявления ее геохимической структуры; исследование микроэлементного состава твердого, жидкого и живого компонентов МГЭС для определения их геохимической сопряженности; характеристику соответствующих потоков вещества и геохимического фона района работ; выявление естественных и техногенных аномалий и геохимических барьеров (геоэкотонов); выявление закономерностей распределения в структуре геоэкосистемы химических ингредиентов-загрязнителей; исследование связи гидробионтов с геохимической структурой геоэкосистемы.

По результатам проведенных геоэкологических работ строят карты распределения в МГЭС токсичных элементов и соединений, ландшафтно-геохимического районирования, на которых выделяют зоны техногенного загрязнения. Они служат основой для выявления зон транзита и накопления, а также выяснения динамики развития процессов загрязнения во времени по результатам сезонных натурных наблюдений.

Исследование литодинамики прибрежной зоны. Комплекс исследований литодинамики прибрежной зоны должен включать: проведение высокоточных батиметрических промеров эхолотированием; организацию и проведение стационарных наблюдений за динамикой прибрежной полосы по реперам и методам повторного эхолотирования; донный пробоотбор на определение динами-

ки гранулометрии; изучение динамики наносов на базе наносоулавливателей; расчеты скоростей и направлений перемещение грунтов, деформаций рельефа дна для фоновых и штормовых ситуаций; диагностическое и прогностическое моделирование (статистическое и физико-математическое) гидродинамических процессов, которые влияют на перенос донных отложений; расчеты массопереноса для донных грунтов.

В процессе мониторинга предполагаются гидролого-гидрохимические исследования для определения: температуры, солености, плотности в разрезе воды (беспрерывное измерение, интервалы осреднения при измерении температуры и солености зондирующими приборами составляют 1 м); pH, концентрации кислорода, нитритов, нитратов, фосфатов, сероводорода; кремнекислоты в стандартных горизонтах вод; БСК-5 в стандартных горизонтах вод.

Определение pH и кислорода выполняют на борту судна. Пробы для определения органических форм азота, фосфора, сероводорода замораживают для выполнения анализов в стационарной лаборатории, или анализируют на борту судна. Пробы БСК подготавливают на борту судна по общепринятой методике, анализы выполняют или на борту судна, или в стационарной лаборатории, в зависимости от срока готовности проб.

Пробы воды отбирают кассетой пластмассовых батометров гидрологических измерительных комплексов из придонного (1 м от дна) и приповерхностных горизонтов, а также слоя термоклина. В первую очередь, из батометров отбирают пробы для оперативного определения качества морской воды непосредственно на борту судна.

Направления эколого-гидрофизических исследований: измерение метеопараметров на базе судовой метеостанции (скорость и направление ветра, атмосферное давление, температура воздуха); измерения относительного уровня моря с помощью донного измерителя, установленного близ берега; измерение режимных характеристик течений на 1–2 автономных или донных станциях; измерение структуры вод с помощью СТТ-зонда; визуальные определения волнений.

Программа натурных гидрофизических исследований при геоэкологическом мониторинге должна быть направлена на решение следующих задач: получение количественных характеристик пространственно-временной изменчивости полей основных гидрофизических параметров; исследование влияния локальных условий на горизонтальное и вертикальное распределение вектора скорости в струе основных течений во все сезоны года; изучение процессов осенне-зимнего охлаждения и конвекции, а также весенне-летнего прогрева морских вод в условиях влияния речного стока; выявление закономерности кросс-фронтального перемешивания вод; изучение динамической структуры и основных особенностей мезомасштабных круговоротов.

Решение перечисленных задач разрешит ответить на вопрос как о переносе растворенных и взвешенных веществ (естественных и антропогенных), так и о накоплении и перемещении донных отложений.

ранные фильтры, которые высушивают и берегут для следующей обработки в лаборатории. После экспедиции фильтры окрашивают и методом прямого счета подсчитывают количество бактерий.

Для выявления физиологических групп бактерий и выявления патогенных микроорганизмов используют метод проращивания на мембранных фильтрах и метод предельных разведений. При первом методе мембранные фильтры с осевшими на них бактериями накладывают на питательную среду для проращивания, при втором методе выполняют посев на редкие элективные среды разных объемов воды.

Сбор фито- и зоопланктонных проб выполняют на представительных площадках. Фитопланктон собирают планктонной сеткой с мельничным газом № 70 из горизонтов 0–10, 10–20, 20–30 м или выполняют тотальный лов через всю толщу от дна к поверхности. Собранные пробы фиксируют формалином и обрабатывают в лаборатории после экспедиции: определяют видовой состав, численность и биомассу планктонных водорослей. Для улавливания ультра- и нанопланктона пробы берут батометром на стандартных горизонтах, в м: 0, 10, 20, 30 сгущают путем фильтрации через мембранный фильтр и также фиксируют формалином для следующей обработки в лаборатории. Пробы отбирают батометром из разных горизонтов соответственно особенностям структуры вод зоны исследования.

Зоопланктон собирают планктонной сеткой Джеди с мельничным газом № 49 на стандартных горизонтах 0–10, 10–20, 20–30 м. Собранные пробы фиксируют формалином и обрабатывают в лаборатории. При изучении ларватона – пелагических личинок донных бесхребетных используют пробы зоопланктона в живом состоянии. Пробы микрозоопланктона отбирают батометром, сгущают путем фильтрации через мембранный фильтр и фиксируют 4 % формалином. При обработке зоопланктонных проб определяют видовой состав, численность и биомассу отдельных видов и всего зоопланктона.

Изучение бентоса – необходимое условие при проведении мониторинга. Для сбора проб бентоса используют дночерпатель «Океан» объемом 0,25 м и 0,1 м. На каждой станции берут 1–2 дночерпателя. На судне собранные пробы промывают через систему сит. Для макробентоса нижним ситом служит сито с размером отверстия 1 мм. Для улавливания мейобентоса к нижнему ситу подвешивают мешок из мельничного газа № 49. Собранные из сит организмы и пробы мейобентоса фиксируют спиртом или формалином и обрабатывают или на судне, или по возвращении из экспедиции. На некоторых станциях для сбора макробентоса может использоваться зоологический трал Сигсби.

При исследовании бентосных проб в лаборатории определяют тип осадков, цвет, консистенцию, видовой состав, количество и массу организмов в пробах, рассчитывают их численность (экз./м^2), и биомассу (г/м^2). Определяют размерный состав массовых видов.

Сбор проб макрофитов выполняют дночерпателем «Океан» и тралом Сигсби. В прибрежной зоне берут пробные площадки размером 50×50 см и 0,25×0,25 см, подсчитывают численность и биомассу водорослей.

Кроме стандартных гидробиологических исследований, которые дают представление о распределении и количестве планктонных и бентосных организмов, целесообразно проведение более углубленных исследований отдельных видов, которые играют наиболее важную роль в потоке энергии в МГЭС и могут служить видами-индикаторами, отображающими изменения экологических условий в МГЭС в будущем. Такими видами в МГЭС являются моллюски-мидии *Mytilus galloprovincralis* и *Zentidium mediterraneum* и новые вселенцы *Mya arenaria* и *Cyneares cornea*, полихеты *Mellina palmata* и *Nereis snecines*, амфипода *Pontogamarius* и красная водоросль *Phillophora*. В МАКЭС интерес представляет вселенец–хищный гребневик *Mnemiopsis Leidyi*, который имеет большое влияние на зоопланктон. Необходимо исследование популяций этих видов: размерного и полового состава, зараженности паразитами, а также морфо-функционального состояния особей и их биоценотичесих и абиотических связей.

С целью спряженного геохимического анализа подсистем жидкого, твердого и живого компонентов необходимо проведение биохимических исследований мидий. Такие работы органически вписываются в глобальную систему мидиевого контроля. Моллюски рода *Mytilus* ведут оседлый образ жизни и являются пассивными фильтраторами по способу питания, поэтому органы мидий накапливают геохимическую информацию, в первую очередь, про приоритетные загрязняющие вещества, а также об интенсивности загрязнения в целом. Отбор мидий на станциях выполняют драгой во время дрейфа судна. Отбирают 10 мидий массового размера (или по возможности размером 5 см) с последующей их консервацией. Консервацию для геохимических анализов тканей мидий выполняют с помощью замораживания. В лабораторных условиях из этих проб определяют тяжелые металлы, ароматические, алифатические углеводороды (покомпонентно и сумму) ХОП, ПХБ и др.

Консервацию для возможных гистолого-биохимических анализов выполняют с учетом того, что мидии должны быть доставлены в лабораторию в живом состоянии. С этой целью их помещают во влажную, темную, прохладную, проницаемую для воздуха среду. В лабораторных условиях выполняют анализы стабильности лизосом клеток крови мидий и корреляцию их жизнестойкости с наличием и концентрацией определенных загрязнителей.

ГЛАВА 5

Лабораторные исследования, методы математического моделирования и использования ГИС-технологий

Одним из наиболее важных этапов мониторинговых работ являются лабораторные исследования. Для сравнения результатов исследований предлагается унификация методов лабораторных анализов. Лабораторные работы включают химико-аналитические определения гидрохимических и геохимических характеристик МАКЭС и МГЭС, а также гидробиологические исследования–определения видового состава и биомассы макрозообентоса, гистолого-биохимических показателей (биомаркеры) ста мидий (соответственно рекомендации Оргкомитета «Экологической программы по Черному морю» и Глобальному фонду по окружающей среде ООН по программе «Уровни загрязнения и биологические эффекты»).

Используя рекомендации ВООЗ и материалы Лондонской Конвенции по предотвращению загрязнения моря сбрасыванием отходов, выделен основной комплекс определений гидрохимических и геохимических характеристик, которые наравне с оценкой состояния биоценозов позволяют дать объективную картину состояния МГЭС.

Наиболее серьезным фактором, который влияет на экологическую обстановку региона, является эвтрофирование слоев МАКЭС у ее границы с МГЭС, возникновение зон гипоксии и сероводородного заражения как МГЭС, так и МАКЭС. Поэтому важным моментом является оценка качества водной среды МАКЭС и жидкой среды МГЭС, наличие в них кислорода и сероводорода, а также определение биогенных элементов.

Водородный показатель pH МАКЭС определяют с помощью стеклянного электрода ЭСЛ-41. Как электрод сравнения используют хлор-серебряный электрод ЭВЛ. Измерения проводят на ионометре типа ЭВ-47 с погрешностью 0,01 ед.

Количество свободного кислорода определяют модифицированным методом Винклера. Метод основан на окислении кислородом двухвалентного марганца до нерастворимого в воде бурого ангидрида четырехвалентного марганца, который в

кислой среде выделяет свободный ион, количественно фиксированный титрованием раствором тиосульфата натрия. Минимальная концентрация кислорода, который может быть выявлен, составляет 0,06 мл/дм^3 при погрешности ±0,02 мл/дм^3.

При количественном определении сероводорода используется реакция окисления его йодом в кислой среде. При этом S^{2-} окисляется к свободной сере S^0, а свободный йод J^0 переходит в J^-.

Нитриты определяют колориметрическим методом с сульфаниловой кислотой и альфа-нафтил-амином. Метод основан на возможности первичных ароматических аминов в присутствии азотистой кислоты, давать интенсивно закрашенные диазосоединения. Закрашиваемость сравнивается с окраской раствора с известным содержимым нитритных ионов на приборе КФК. Чувствительность метода 0,5 мкг/дм^3, погрешность – 3 – 5 %.

Методы определения нитратов и фосфатов приведены выше (гл. 2).

Все анализы по определению вышеперечисленных биогенных соединений следует выполнять согласно «Руководству по химическому анализу морских вод» КД 52.10.243–92 и др.

Всемирная организация здравоохранения относит элементы ртуть, кадмий, свинец, цинк к группе токсикантов; хром, никель, ванадий, и т.п. – к группе потенциально опасных. Лондонской Конвенцией по предотвращению загрязнения моря сбрасыванием отходов составлен «черный список» (приложение 1 Конвенции) веществ, которые в связи с их стойкостью, токсичностью или возможностью аккумулироваться, настолько опасны, что их сброс в море целиком недопустим. Сюда относят хлорорганические пестициды, кремний, органические соединения, ртуть, кадмий и их соединения, сырую нефть и ее отходы, радиоактивные вещества.

В «серый список» (приложение 2 Конвенции) занесены вещества, сброс которых как в чистом виде, так и в смесях должен быть строго ограничен. Сюда входят большинство металлов (As, Pb, Zn, Cu, V, Cr и др.), пестициды и их побочные продукты, не указанные в приложении 1, и ряд других веществ и материалов.

Ниже приведены рекомендованные методы лабораторных анализов загрязняющих веществ.

Сумму нефтепродуктов рекомендуется определять методом инфракрасной спектрофотометрии в соответствии со стандартами КД 52.10.556 – 95, КД 52.10.243 – 92. Его суть заключается в экстракции нефтепродуктов из воды четыреххлорным углеродом, колоночной очистке экстракта на оксиде аммония от полярных углеводородов и измерении интенсивности поглощения экстрактом в ближней ИК-области спектра (3410 нм). Чувствительность определения 0,003 мг/дм^3. В качестве стандарта для калибрования спектрофотометра желательно использовать смесь Симарда (изооктан + гексадекан + бензол).

Сумму ароматических углеводородов необходимо определять методом спектрофлуориметрии в соответствии с «Методическими указаниями по опре-

делению токсичных загрязняющих веществ в морской воде на фоновом уровне» № 45, а также Reference Methods № 20 IOC/IAEA 1992. Расчет концентрации целесообразно выполнять по отношению к стандартам двух типов: 1 – ароматического углеводорода хризена; 2 – международного стандарта для анализа нефтепродуктов спектрофлуориметрическим методом «Ropme».

Индивидуальные углеводороды нефтяного происхождения определяются методом хромато-масс-спектрометрии в соответствии со стандартом UNEP «Determination of petroleum hudrocarbons in sediments», «Reference Methods for Marine Pollution Studies» № 20 IOC/IAEA 1992. Для калибрования прибора используют стандартную смесь SE-52 MESL IAEA, в состав которой входит 34 индивидуальных углеводорода (алифатических и ароматических).

Хлорорганические пестициды и полихлорбифенилы определяют методом газожидкостной хроматографии на хроматографе с капиллярной колонкой и детектором электронного захвата в соответствии с «Методическими указаниями по определению токсичных загрязняющих веществ в морских донных осадках» № 43 и «Руководству по химическому анализу морских вод» КД 52.10.243 – 92. Определение хлорорганических соединений основано на изъятии последних из пробы воды или донных осадков путем экстракции органическим растворителем, обработке экстракта (очищение, концентрирование) и дальнейшем хроматографическом детектировании. Расчет концентраций ХОП выполняется по отношению к стандартной смеси индивидуальных хлорорганических пестицидов. Сумму ПХБ рассчитывают по отношению к двум последовательным стандартам – Ar-1254 (смесь 11 индивидуальных ПХБ) и Ar-1260 (смесь 9 и более высокомолекулярных ПХБ).

Тяжелые металлы (Cr, Cu, Pb, Cd, и др.) в донных отложениях определяют методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией в соответствии с НСАМ 341-ХС «Атомно-абсорбционное определение токсичных тяжелых металлов в грунтах и донных отложениях». Металлы в пробах воды также определяют атомно-абсорбционным методом с предшествующей экстракцией согласно «Руководству по химическому анализу морских вод» КД 52.10.243 – 92.

Ртуть определяют по методу пламенного атомно-абсорбционного фотометрирования. Метод разработан во ВХИ АН Украины и состоит в поглощении характеристического излучения 253,7 нм атомами ртути, выделенными из анализируемого раствора потоком воздуха. Чувствительность метода 8×10^{-7} мг/дм^3.

Исследование проб мидий на содержание металлов необходимо выполнять методом атомной абсорбции на безпламенном атомно-абсорбционном спектрофотометре. Пробоподготовку и анализ выполняют согласно «Reference Methods...» № 7 и № 63 UNEP/FAO/IAEA/IOC. Для тарирования спектрофотометра желательно использовать индивидуальные стандартные растворы металлов фирмы Merck, Standart Reference Material (SRM) – BCSS-1. Для анализов донных осадков и мягких частей мидий пробы необходимо предварительно высушить в вакуумном вымораживателе («Friezee dryer»).

Фенолы определяют согласно нормам ГОСТ 26449.1 – 85. Летучие фенолы отгоняют с водным паром и окисляют в щелочной среде надсернокислым аммонием. Продукты окисления при взаимодействии с 4-антипирином дают красные антипирина красители, которые экстрагируют хлороформом. Оптическую плотность растворов измеряют на спектрофотометре. Нижняя граница определения составляет 1 мкг/дм^3. Целиком допустимо фенолы анализировать также на хроматографе с пламенно-ионизационным детектором с предшествующим извлечением изобутилацетатом с добавкой высалевателя.

СПАВ определяют на спектрофотометре согласно «Методике экстракционно-фотометрического определения анионных ПАВ с метиленовой синью в естественных и сточных водах».

Элементный состав находят спектральным приближенно-количественным анализом.

Анализ $C_{орг}$ в МГЭС выполняется из воздушно-сухой навески пробы вещества методом Тюрина в модификации Орлова и Гришиной путем мокрого сернохромового окисления пробы с автоматическим кулонометричным определением образовавшегося CO_2. Гранулометричный анализ выполняют на стандартном наборе сит. Зернистую часть в интервале крупности от 0,25 до 0,04 мм фракционируют по плотности в тяжелых жидкостях. Выделенные минеральные фракции определяют под микроскопом с привлечением иммерсии. Массовые доли минералов определяют расчетным путем с учетом выхода фракций. Шламовую часть (менее 0,04 мм) исследуют термическим и инфракрасным спектральным методами.

Радиохимические исследования целесообразно выполнять на гамма-спектрометре на основе многоканального анализатора импульсов с прецизионным полупроводниковым детектором «Canberra» GCW 2022 согласно стандарту МАГАТЭ IAEA/AL/046.

Лабораторные исследования планктонных организмов необходимо выполнять по стандартным методикам «Методы водной микробиологии», «Морская микробиология», «Методы гидробиологических исследований». Пробы зоопланктона обрабатывают по общепринятой счетно-массовой методике с использованием массовых характеристик, полученных Т.С. Петипом. Пробы бактериопланктона на мембранных фильтрах окрашивают карболовым эритрозином и просчитывают с использованием микроскопа, оснащенного фазово-контрастным устройством при увеличении х 1350 (масляная иммерсия). Пробы фитопланктона сгущают с использованием метода обратной фильтрации через нуклеопоровые лавсановые фильтры диаметром 90 мм с диаметром пор 1,0 мкм без вакуума. Сгущенные пробы обрабатывают тотально в камере Горяева с использованием микроскопа, при увеличении от 400 до 1350 раз.

Обработка массива всей полученной информации включает визуальный обзор, разбраковку и подготовку необходимых данных для обработки на ПК, статистический и корреляционный анализ (пакет STATISTICA программы

Excel), построение графиков, диаграмм, площадных интерполяций или экстраполяций, построение монокомпонентных, поликомпонентных синтетических карт (Excel, Surfer, Grafer, Mapinfo, Arc Wev).

В результате анализа устанавливают типологические параметры геохимических ландшафтов, естественную и техногенную составляющие геохимического поля, связь гидробионтов с геохимией, трансформация загрязненных речных вод, миграционные потоки и т.п.

Современный уровень развития геоэкологии требует получения прогнозных оценок функционирования естественных гидросферных, биосферных, атмосферных экосистем и верхней зоны геологической среды с привлечением современных методов математического моделирования, которые также необходимы для разработки методологии экологически безопасного использования ресурсов окружающей среды. Оперативность модели должна обеспечиваться путем создания тематической компьютерной сети, в которую входили бы серверы всех организаций, принимающие участие в мониторинге. Сетевое программное обеспечение (маршрутизаторы, протоколы обмена данными и т.д.) разработано в процессе развития Internet, поэтому для решения этой части задачи не нужно создания принципиально новых программных средств. Необходимы организационные усилия относительно создания сети и адаптация известных средств программного обеспечения.

Иерархию по типам информации (в порядке возрастания), обрабатываемой в такой сети, можно представить следующим способом: 1. Классификация объектов. 2. Текущие характеристики объектов. 3. Динамика их изменения (математические модели). 4. Классификация связей между объектами. 5. Текущее состояние связей. 6. Динамика изменения связей (логико-экспертные системы).

Практически по всем видам информации существуют многочисленные разработки, причем эти разработки взаимно дополняют одна другую.

ГЛАВА 6

Аэрокосмические исследования

Аэрокосмические исследования дополняют контактные натурные исследования. Они должны выполняться синхронно с контактными измерениями, а также дискретно в межэкспедиционный период. Необходимость использования дистанционных исследовательских приемов состояния естественной среды, вызвана следующими факторами: оперативностью получения и обработки информации; возможностью получения информации в цифровом виде, который обеспечивает ее сохранение, пополнение и компьютерную обработку; высокой обзорностью; естественной генерализацией изображений особенностей (ландшафтных, климатических, геологических, геоморфологических и др.) индикаторов состояния естественной среды экосистем; широким диапазоном спектра космических изображений; возможностью сопоставления и анализа дискретной информации для оценки динамики развития геоэкологических и геоэкологически значимых процессов.

Применение аэрокосмических методов может быть использовано для решения как ситуационных, так и режимных (мониторинговых) задач исследований. В первом случае анализ информации выполняется с целью оценки эколого-геологического состояния участка в определенный период времени. При выполнении режимных наблюдений в системе мониторинга прослеживается динамика изменений состояния естественной среды природных экосистем, которая определяет возможность прогнозирования этих изменений.

Под аэрокосмическим мониторингом (АКМ) понимаем систему регламентированных дистанционных периодических наблюдений за состоянием природных аэро-, аква- и геоэкосистем и их пространственно-временных изменений под влиянием естественных и техногенных факторов. Объектом АКМ являются те части экосистем, которые периодически изменяются под влиянием различных воздействий, что прямо или косвенно отображается на материалах дистанционного зондирования.

Относительно задач мониторинга объектами АКМ служат:

По приморской части суши: компоненты геологического строения береговой зоны (горные породы и их границы, разрывные структуры, условия залегания пород и др.); геоморфологические особенности (формы рельефа береговой зоны, образованные в результате климатических, эндогеодинамических, экзогеодинамических процессов аккумулятивные, гравитационные, абразионные и др.); гидрогеологические и инженерно-геологические особенности (гидросеть, лиманы, озера, заболоченные и засоленные участки, области подтопления, абразии и т.д.); техногенные объекты, расположенные на побережье.

По акваториальной части: особенности гидрологической структуры, динамики водной среды МАКЭС и переноса вещества; геоморфологические особенности границы «МГЭС – МАКЭС», псевдолатеральных и сублиторальных частей МАКЭС (пляжей, бенча, кос, баров, банок, конусов выноса, зон субмаринной разгрузки подземных вод континентов, грифонов и т. д.).

Аэрокосмический мониторинг проводится с целью решения следующих задач: оценки динамики развития эндогеодинамических, экзогеодинамических и антропогенных процессов, а также влияния этих процессов на МГЭС; оценки поступления взвешенных загрязняющих веществ, обусловлены речным стоком; оценки поступления загрязняющих веществ техногенного характера в прибрежную зону моря; оценки влияния промышленно-городских агломераций, портовых сооружений на экологическое состояние района, включая разливы нефтепродуктов.

Информация, получаемая в результате анализа материалов дистанционного зондирования в т. ч. по интегральной оценке особенностей гидрологического режима водной среды МАКЭС, крупномасштабной циркуляции, мезомасштабных динамических процессов и транспорта взвешенного вещества дополненная фактическим материалом экспедиционных морских и полевых геоэкологических, в т. ч. гидрофизических, гидрогеохимических, геохимических и гидробиологических исследований. Обобщение всей накопленной информации даст возможность создания системы, ориентированной на оценку экологического состояния региона или его отдельных районов, прогнозирование его возможных изменений, а также принятие экологически обоснованных управленческих решений.

Технологическая схема АКМ предусматривает создание банка данных природно-техногенных условий, а также автоматизированную обработку всей накопленной информации с целью контроля и оптимизационного моделирования состояния МГЭС для рационального природопользования. Технические средства АКМ – многоканальные изображения, полученные искусственными спутниками Земли (ИСЗ) «Landsat», NOAA, «Ресурс», «Січ». Эти изображения разрешают наблюдать мезо- и мелкомасштабные объекты и динамические процессы. Для детального уровня исследований может возникнуть необходимость применения аэрофотоснимков масштаба 1:18 000 – 1:50 000.

В качестве примера, ниже приведены возможности применения данных спутниковой информации, в частности, материалов съемки радиационной тем-

границы «МАКЭС–МАЭС» в районах отсутствия вышеуказанного влияния. Значительное содержание вещества отличает водную среду в зоне контакта также и на видимых изображениях. В осенний сезон, если потоки тепла из атмосферы в море уменьшаются, наблюдается выхолаживание водной среды у границы «МАКЭС–МАЭС» и информативность спутниковых ИК изображений значительно снижается. Однако, горизонтальные различия температур водной среды у границы «МАКЭС–МАЭС» между водными средами различной солености остаются заметными и в зимний период, что позволяет интерпретировать космические изображения объектов, в частности, изучаемых морских экосистем, в любой сезон.

На рис. 1.6.2 (см. вклейку) показаны спутниковые карты радиационной температуры границы «МАКЭС–МАЭС» в сентябре 1997 г. Слева на каждом изображении шкала температур, приведенная к определенному цвету.

Прежде всего, на серии термических изображений СЗ области шельфа Черного моря виден результат осеннего выхолаживания водной среды МАКЭС, причем процесс охлаждения начинается из мелководных районов севера и востока СЗ области шельфа, распространяясь в его более глубокие районы. Этому оказывает содействие и преобладающий в первой половине месяца ветер северных румбов, который не только отжимает прогретые за лето потоки водной среды МАКЭС у границы с МАЭС на юг, но и вызывает в северной части моря между Днепро-Бугским и Днестровским лиманами явление апвеллинга холодных слоев водной среды МАКЭС с ее границы с МГЭС. В этой ситуации, наиболее прогретые мутные распресненные воды Дуная перемещаются на юг от устьевой зоны, сосредотачиваясь между мысами Св. Георге и Калиакра, как видно на изображениях за 13, 20, 22 и 23 сентября 1997 г. 13.09.1997 г. на север от о. Змеиный в МАКЭС наблюдались относительно теплые слои водной среды, которые переносились ветровым течением на юг, что было зарегистрировано гидрологическими измерениями сентябрьской съемки 17 рейса НИС «Трепанг».

Более детально термическая структура водной среды МАКЭС у ее границы с МАЭС показана на рис. 1.6.3 (см. вклейку). Из фрагментов карты видны охлажденные водные слои МАКЭС 20 сентября 1997 г. в районе мелководья, которые тянутся узкой полосой вдоль устьевого взморья Дуная, а о. Змеиный находится в области относительно теплой водной среды МАКЭС, которая распространяется с севера под действием северо-восточного ветра. Восточнее от острова снова видно более холодные слои водной среды МАКЭС у ее границы с МАЭС на шельфе СЗ области Черного моря.

Фрагмент карты получен при совсем другой ветровой ситуации, которая наблюдалась 8 октября 1997 г. Юго-западный ветер вызвал апвеллинг холодных слоев водной среды МАКЭС у границы с МГЭС вдоль взморья р. Дунай и побережья на север от дельты Дуная. При этом образовалась поперечная струя холодных распресненных слоев водной среды МАКЭС, отмеченная на снимках юго-восточнее о. Змеиный, что также подтверждено контактными измерениями. Термический фронт вод апвеллинга хорошо согласуется с солевым стоковым фронтом зоны вторичной трансформации речных вод. Фронт полной

трансформации выглядит размытым в поле радиационной температуры. Это означает, что дневного радиационного прогрева уже не хватает для создания достаточно резкого температурного контраста между мутными (распресненными) и прозрачными (морскими) массами водной среды МАКЭС.

Результаты аэрокосмических исследований позволяют обнаружить методические ошибки при выполнении морских экспедиционных работ, как это было во время декабрьского 1998 г. рейса НИС «Диорит».

Термическая структура водной среды МАКЭС на границе с МАЭС в районе придунайского шельфа в декабре 1998 г. детально показана на рис. 1.6.4 (см. вклейку), ИК изображения региона в период выполнения экспедиционных работ. На изображение наложены изотермы поверхности моря, построенные по данным измерений на станциях НИС «Диорит». В северо-восточных районах рис. 1.6.4, *а*, с соответственно 4 и 11 декабря видно облачность – высокочастотную текстуру с холодным средним фоном.

На исследуемой территории 1–3 декабря 1998 г. преобладал стойкий северный ветер, который совпадал с направлением движения прибрежных вод на юг. На рис. 1.6.4, *а* видно, что охлажденные воды мелководья протягиваются узкой полосой вдоль устьевого взморья Дуная, термический фронт совпадает с изотермой 5 ^{0}C, а о. Змеиный находится в области относительно теплых поверхностных вод шельфа. В области низких температур тепловая картина хорошо согласуется с полем температуры поверхности моря по контактным измерениям, а некоторое сгущение изотерм в районе о. Змеиный объясняется временной разверткой гидрологических станций: восточные станции выполнялись 5– 6 декабря, когда ветровая ситуация изменилась (см. рис. 1.6.1, *б, с*).

Рис. 1.6.4, *б* (5 декабря) располагался близко к краю полосы сканирования спутникового изображения, поэтому контрасты температуры на нем существенно ниже, чем на предшествующем и последующем снимках. Тем не менее, видно, что при юго-западном ветре, который усилился 4 декабря и действовал на протяжении 5–6 декабря, наблюдалось продвижение фронта прибрежных холодных масс водной среды МАКЭС на восток. При этом фронт почти достиг о. Змеиный. Этим и поясняется сгущение изотерм температуры поверхности моря возле острова.

В дальнейшем направление ветра снова изменилось на северное, а 8– 11 декабря в районе отмечались ветры сменных направлений, что привело к прекращению продвижения фронта прибрежных вод восточнее и его релаксации в некотором промежуточном состоянии. Это четко видно на рис. 1.6.4, *с*. При этом фронт возбужден колебаниями с длиной волны 10 км, как следствие гидродинамической нестойкости. Охлаждение прибрежных вод, происходившее 7–11 декабря, привело к увеличению горизонтального градиента температуры в направлении поперек изобат и образованию нового прибрежного фронта дополнительно к старому, смещенному ранее восточнее. В результате оказалось, что термическая структура 11 декабря лучше совпадает с полем температуры границы «МАКЭС–МАЭС», полученным при измерениях 3–6 декабря, чем спутниковые данные, полученные 4 и 5 декабря. Если две фронтальных зоны по

контактным данным получены в результате перемещения судна по времени в восточном направлении (вместе со смещением фронта), то двухфронтальная структура вод на спутниковом снимке 11 декабря отображает реальную картину. Это указывает на то, что, во-первых, следует осторожно интерпретировать контактные данные, развернутые во времени при анализе ситуации, которая быстро изменяется в условиях прибрежного мелководья; во-вторых, в таких ситуациях необходимо привлекать к исследованиям по возможности серию спутниковых изображений, которые дают реальное представление об изменении гидрологической ситуации (развитие процесса) в реальном масштабе времени.

Таким образом, продвижение прибрежного фронта холодных распресненных масс водной среды МАКЭС на восток приблизительно со скоростью смещения в этом же направлении галсов НИС «Диорит» внесло погрешность в пространственную картину гидрологических полей на полигоне. Только привлечение к анализу серии спутниковых изображений тепловой структуры слоя водной среды МАКЭС на границе с МАЭС позволило установить реальную картину динамических процессов, которые происходили в данный момент. Очевидный важный методический вывод – при выполнении контактных измерений галсы всегда должны быть направлены таким образом, чтобы судно пересекало доминирующие океанологические поля. Для данного случая судно должно двигаться в направлении из открытого моря в сторону побережья и Дунайской дельты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Емельянов В.А.* Основы морской геологии. Теоретико-методологические аспекты. – К.:Наук. думка, 2003. – 238 с.
2. *Розовский Л.Б.* О новом направлении в инженерной геологии морской инженерной геологии // Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР. – К.: Изд-во КГУ, 1972. – С. 137–142.
3. *Огильви Н.А.* Физические и геологические поля в гидрогеологии. – М.: Наука, 1974. – 160 с.
4. *Емельянов В.О., Митропольський О.Ю.* Морська геоекосистема та її місце в організації біосфери // Вісник АН УРСР. – 1990 – № 3. – С. 40–45.
5. *Биогеохимия* океана / Под ред. А.С. Монина, А.П. Лисицына. – М.: Наука, 1965. – 368 с.
6. *Юровский Ю.Г., Совга Е.Е.* Выполнение эколого-геологических, гидрогеохимических и гидробиологических исследований на наблюдательном полигоне устье р. Дунай – о. Змеиный (Временные методические рекомендации). – Севастополь: Экоси-гидрофизика, 1997. – 127 с.
7. *Шнюков Е.Ф., Шестопалов В.М., Яковлев Е.А.* Экологическая геология Украины. – К.: Наук. думка, 2000. – 408 с.
8. *Исследование* и оценка загрязнения, ущерба и состояния экосистем на шельфе Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа / В.Н. Егоров, Г.Г. Поликарпов, Н.Н. Терещенко и др. – Севастополь: Экоси-гидрофизика, 2001. – С. 111–127.
9. *Гидрологические* наблюдения на береговых станциях и постах // Наставление гидрометеорологическим станциям и постам: ГУГМС, Гидрометеоиздат, 1968. – Вып. 9. – С. 16–17.

РАЗДЕЛ 2

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

Являясь феноменом геологической природы, геоэкологические системы, в т. ч. МГЭС донных отложений черноморского шельфа Украины, формировались в определенных геологических условиях, которые складывались и сменяли друг друга в соответствующем секторе литосферы и биосферы (экосферы) нашей планеты на протяжении многих тысячелетий ее геологической истории. Геоэкосистемы сохраняют в себе следы предшествующих этапов не только своего развития, но и развития смежных геосферных экологических систем — аквальных и аэральных экосистем. Таким образом, объект наших исследований — результат длительного, как правило, эволюционного развития материи, а особенности его сложной и неоднородной структуры, в широком понимании этого термина, обусловлены многими факторами различного уровня и генезиса. Главная задача настоящего раздела — ознакомить читателя с современными представлениями о структурном положении, тектонике, стратиграфии и геоморфологическом строении региона исследований, а также с особенностями современной структуры и динамики смежной МАКЭС как факторами формирования и функционирования современных геоэкосистем, включая МГЭС донных отложений.

ГЛАВА 1

Современные представления о структурном положении и тектоническом строении Черного моря

Время заложения, происхождение и тектоническое строение Черноморской впадины – предмет многочисленных дискуссий, продолжающихся с конца IX ст. К настоящему времени существует несколько основных точек зрения на механизм ее формирования. Одна из них рассматривает Черноморскую впадину как остаточную впадину Альпийского складчатого пояса, а Черное море выделяет как «древний материнский геосинклинальный прогиб» [1, 2]. Альтернативная точка зрения предполагает новообразованный характер Черноморской впадины и относит время ее заложения к интервалу: конец неогена – раннечетвертичное время [3–6]. В рамках фиксистской концепции представляется, что новообразованная кора образовалась за счет быстрого вертикального погружения земной коры, а исходя из структурно-мобилистской концепции – за счет горизонтального раздвижения земной коры. В работе [7] отмечалось, что последний из механизмов основан либо на рифтогенном разрыве и последующем раздвиге «гранитно-метаморфического» слоя земной коры в пределах впадины [8], либо на принципе ареального спрединга субокеанических впадин [9]. Ныне разрабатывается геодинамическая модель Черноморской впадины [10], представляющая собой сочетание «коллажа разновозрастных островодужных террейнов и микроконтинентов между Африкано-Аравийской и Евразийской литосферными плитами» [11]. По мнению авторов работы [10] южная окраина Украинской плиты является тыловой частью коллизионной зоны, в которой был сформирован Северо-Крымский прогиб, охватывающий и северную часть Скифской плиты (Скифии). Северная область Черноморской впадины принадлежит развитию мезозойских микроконтинентов и террейнов Евразии, в составе которых выделяются Родопия, Крымия, Мизия и Дзирулия. Южной границей этих структур являются Интрапонтидская и Севанско-Акеринская сутуры северного падения. Мизия граничит на юго-западе с Родопией по Балканской сутуре южного

падения; на северо-востоке, востоке и юго-востоке она ограничена сутурой Печеняга-Кастаману. Восточнее Мизии расположена Дзирулия, поддвигающаяся через аккреционную призму под Крымский и Кавказский террейны и граничащая с микроконтинентом Малокавказия по северному продолжению левостороннего сдвига [9].

По мнению В.Е. Хаина Черноморская впадина представляет собой останец океанической плиты Тетис [12], а в работе [13] отмечен своеобразный характер Черноморского спрединга с надвиганием смежных складчатых сооружений в направлении осей бассейна с появлением своеобразных аккреционных клиньев в зоне так называемой «псевдосубдукции».

В работе [7] отмечалось, что развитие региона в условиях закрытия Восточного Мезотетиса определяется в пределах Евразийской геоплиты структурами планетарного ранга: Евразийской и Аравийской геоплитами, разделяющей их Родопско-Понтийской структурой, а также линеаментом Архангельского-Андрусова, являющимся фрагментом линеамента Торнквиста, пересекающего Евроазиатский континент от Северного до Аравийского морей. Линеамент состоит из сложнодислоцированной системы ветвящихся сбросов, взбросов, надвигов и сдвигов. Границы между геоплитами фиксируются их фронтальными областями, образованными блоками коллизионного происхождения с земной корой переходного типа.

Геолого-геофизическими и томографическими исследованиями, выполненными европейскими учеными, на что указывается в работах [14, 15, 17], установлена зона субдукции Аравийско-Африканской плиты на широте Эгейских островов в Средиземном море, локализованная южнее островодужной системы Понтид. В работе [16] отмечалось, что схожая геоструктурная позиция наблюдается и к югу от Крыма и Ломоносовского подводного массива, но глубина расположения массива эпицентров землетрясений (глубокофокусных в Средиземном море и мелкофокусных – у берегов Крыма) не позволяют судить о полной аналогии этих зон.

В работе [17] предложена модель эволюции Тетиса в мезозое-палеогене, согласно которой формирование Черноморского бассейна происходило в условиях активной среднеюрской субдукции и шарьирования с существованием задугового бассейна Большого Кавказа, охватывающая и современное положение восточной части Крыма. В конце нижнего мела на месте задугового бассейна произошло раскрытие рифта и появление нового океанического дна на месте Западно-Черноморского бассейна в продолжающихся условиях активной субдукции. К концу мела океаническая кора впадины значительно расширяется, а впадина дифференцируется на области с тонкой континентальной корой (Восточно-Черноморский бассейн) и океаническим дном. Океаническое дно и континентальная кора задугового бассейна приобретают окраины. В конце палеогена активность процессов субдукции снижается, но она получает свое развитие к северо-западу – в районе Западно-Черноморского бассейна [17].

При исследовании особенностей геодинамики Крымского сейсмоактивного региона на основе изучения геологических формаций и результатов изучения палеогеодинамических обстановок высказано предположение, что Крым представлял собой эпигерцинский континент, отколовшийся от Гондваны во время раскрытия Мезотетиса и не являлся окраиной Восточно-Европейской платформы (ВЕП) на протяжении всей истории своего развития. Его юго-восточный и северо-западный края попеременно играли роль активной окраины, а два других края были ограничены трансформными разломами [18].

Формирование и эволюцию Черноморской впадины связывают также с гипотезой погружения земной коры с образованием впадины «черноморского типа» в процессе «базификации» [19], «эклогитизации» [20, 21], «астенолитизации» [22] и др.

В работе [16] указано на значительную роль палеоостровных дуг в тектоническом строении северной части континентального склона Черноморской впадины. Установлено, что альпийский доколлизионный магматизм выделенного авторами Ломоносовского подводного массива (ЛПМ) является «результатом вторичной субдукции и по времени совпадает с субдукционными процессами в Среднегорьи, Понтидах и на Кавказе» [23]. По результатам исследований сделан важный вывод о том, что рифтогенный магматизм ЛПМ проявился в пределах существовавшей ранее горной страны, расположенной на Скифской плите в наиболее погруженной части ВЕП.

Исходя из концепции плюмтектонического механизма формирования впадин внутренних морей предложена геодинамическая модель Черноморской мегавпадины и выделены две стадии ее формирования: прогрессивная палеосводовая, связанная с подъемом Восточного и Западного мантийных диапиров, и регрессивная – связанная с резким погружением палеосводов во внутренние области диапиров, что сопровождалось экстракцией магматического материала по зоне глубинного Циркумчерноморского разлома [24].

Авторы работы [25] связывают механизм формирования горного сооружения Крыма и Черноморской впадины с взаимосвязанными этапами коллизии, латеральной экструзии и гравитационного коллапса. Представленная ими геодинамическая модель Восточного Средиземноморья и Крыма основана на главенствующей роли орогенического процесса в рамках Средиземноморского альпийского подвижного пояса в условиях давления со стороны Аравийской платформы. Согласно построениям, деформационный процесс в Крымской зоне протекает по типу субдукционно-коллизионного взаимодействия контрастных блоков литосферы. Авторами выделяются области сжатия, приуроченные к юго-западной части горного Крыма. С юга-востока этот домен ограничивается областью растяжения Главной гряды и Южного берега Крыма, к востоку более проявлены сдвиговые деформации. Реконструкция напряженного состояния и веерообразного узора траекторий напряжений позволила объяснить характер взаимодействия Горного Крыма и Черноморской плиты и проявления условий

растяжения в Западном и Восточном Горном Крыму, разворот структур Западного Горного Крыма. Характер взаимодействия коры ВЕП и Черноморской плиты в западной и восточных частях Крыма различен: для западной части это надвигание активной экструзивной зоны Западного Горного Крыма на Западно-Черноморскую микроплиту, а в восточной части – субдукционно-коллизионный поддвиг активной Восточно-Черноморской плиты под Крым.

Кратко остановимся на основных представлениях о тектоническом строении региона исследований.

Согласно общим представлениям Черноморская впадина входит в состав Средиземноморского складчатого пояса, включающего в себя альпийскую и герцинскую складчатые области Западной Европы, герцинские сооружения Атласа в Северной Африке и эпигерцинские платформы, окаймляющие с юга край ВЕП, представленные Мизийской и Скифской плитами. Складчатые области, окружающие Черноморскую котловину, а также зона шельфа Черного моря, обладают континентальной корой с мощным гранитным слоем. Но в центральной части впадины земная кора относится к «субокеанической», т.к. «гранитно-метаморфический» слой здесь отсутствует и состоит из «базальтового», мощность которого составляет 25–27 км, а мощность перекрывающих осадков достигает 4–14 км. Поверхность Мохо в этой части моря относительно приподнята до глубины 20–30 км, опускаясь по мере приближения к горным структурам континентального обрамления до глубины 40 км [19]. Выклинивание гранитного слоя происходит по субширотной зоне восток – северо-восточного простирания, расположенной южнее береговой линии Крыма.

В пределах Черноморской впадины выделяется Центрально-Черноморское поднятие, разделенное на Западно-Черноморское и Восточно-Черноморское, в состав которых на юге входят поднятие Архангельского и кулисообразно расположенный вал Андрусова, имеющий субмеридиональное (южное поднятие) и северо-западное простирание (северное поднятие). Завершается Центрально-Черноморское поднятие Прикрымским выступом, примыкающим к цоколю Крымской мегаантиклинали. В пределах Западно-Черноморского поднятия расположены Мизийская плита, складчатая зона Восточного Балкана и связанные с ним прогибы. Восточно-Черноморское поднятие ограничивается с севера валом Шатского, а с юга и юго-востока – погребенной частью континентального склона. На краю Черноморской впадины на границе с мегаантиклиналями Крыма и Кавказа выделяются прогибы Туапсинский и Сорокина, имеющие асимметричное чешуйчатое строение, осложненное надвиговыми дислокациями. Крайнее восточное замыкание зоны шельфа и континентального склона Украины принадлежит области северо-восточного Керченско-Таманского прогиба, расположенного между периклиналями Крымской и Кавказской мегаантиклинали.

Согласно общепринятому геотектоническому районированию [26] основная (СЗ часть) Черноморского шельфа Украины расположена в пределах молодой эпигерцинской платформы, отделяющей край ВЕП от альпийских складча-

тых структур Стара Планины, Горного Крыма и Кавказа и представленной Скифской и Мизийской плитами, разделенными горстом Добруджи, а самая северная ее часть входит в состав южной окраины дорифейской ВЕП. Вопрос о положении и структурных особенностях зоны сочленения ВЕП и Скифской плиты является одним из самых дискуссионных. Различные авторы размещают положение зоны, в зависимости от приоритетной парадигмы и от уровня новизны фактического материала исследований, в широкой полосе СЗ шельфа Черного моря от Днестра [27]; до широты озера Алибей [28] широты Дуная [29] и южнее Дуная [30]. Восточное же продолжение зоны все исследователи размещают в области Каркинитского залива и Присивашья [31, 32].

Мизийская плита охватывает пространство Нижне-Дунайской равнины, прилегающую область шельфа, основание Северо-Болгарского поднятия и зону Предбалканья, обрамляющую край плиты. Скифская плита в пределах Черноморского шельфа простирается от устья Дуная до Восточного Сиваша в Равнинном Крыму и отделена от ВЕП шовной зоной, состоящей из системы разломов. На юге Скифская плита граничит с глубоководной Черноморской впадиной по зоне Одер-Кавказского линеамента, разделяющего литосферные области с толстой (Скифская плита) и тонкой (Черноморская впадина) корой, пересекающего на северо-западе Карпаты в районе зоны Вранча и далее огибающего Крымский полуостров [33, 34]. Согласно геодинамическим реконструкциям, выполненным коллективом авторов Геодинамической карты Украины [35], юго-западное обрамление ВЕП представляет собой активную континентальную окраину, подверженную деструкции в зоне тыловых рифтов, а структуры Северной Добруджи и Равнинного Крыма возникли в результате коллизии Евразийской плиты и Мизийского микроконтинента.

Складчатая зона Добруджи ограничена с запада глубинными разломами северо–северо-западного простирания: Лунковица–Консул и Печеняга–Камена, на юге – окраиной Скифской плиты. Восточное окончание зоны проводят по зоне Одесско-Синопского (Трансчерноморского) глубинного разлома [36], а северное – по Кагул-Георгиевскому тектоническому шву. Исходя из мобилистских представлений, складчатая система Северной Добруджи располагается между Мизийским микроконтинентом и ВЕП (Евразийской плитой). В тектоническом отношении система трактуется как серия покровов с северной вергентностью, образованных тремя комплексами пород. Из них самый северный, Тулчанский покров отвечает зоне Тулча [37].

Добруджа отделена от южного склона ВЕП Преддобруджинским палеозойским перикратонным прогибом, ограниченным с востока зоной Одесско-Синопского разлома. Прогиб состоит из внутренних поднятий и депрессий, заполненных осадками мощностью от 5 до 8 км и интесивно расчлененных тектоническими нарушениями на отдельные тектонические блоки. В его пределах выделяется ряд крупных структурно-тектонических элементов, основными из которых являются: северо-восточный Алуатский грабен, примыкающий к

нему с юго-востока Орехово-Суворовский выступ, Каменецкий грабен, расположенный восточнее и далее к востоку – Нижнеднестровская депрессия. К юго-западу от Орехово-Суворовского выступа расположена Сулинская депрессия, а южнее Нижнеднестровской депрессии – выступ о. Змеиный или – Килийско-Змеиное блоковое поднятие, в составе которого выделяется ряд горстообразных и грабенообразных структур [31]. В центральной части выступа глубина подошвы чехла Скифской плиты достигает 3 км, постепенно увеличиваясь к периферии, а уровень фундамента по системе ограничивающих его разломов, приподнят более чем на 2 км (западный участок). Основные тектонические границы выступа связаны на западе с Арцизско-Фрунзенским разломом, с севера – с системой субширотных дислокаций, отделяющих его от так называемой Алибейской ступени. Арцизско-Фрунзенский разлом выделяется в геофизических полях, а также по изменению мощности и гипсометрическому положению поверхности палеозойских отложений.

Восточная граница проходит по Одесско-Синопскому разлому, по которому происходит погружение фундамента до глубины 8–10 км. Южная граница выступа связана с субширотным Крымско-Георгиевским разломом. Палеозойские отложения выступа в значительной мере дислоцированы на южный и северный блоки [31, 32]. Между Крымско-Георгиевским и юго-западным продолжением Голицинского разломов, как указывается в этой же работе, выявлена грабенообразная структура, являющаяся в отложениях мезо-кайнозойского чехла, центриклиналью Одесско-Джанкойского рифтогенного прогиба, наложенной на палеозойские отложения Змеиноостровского выступа. По результатам геодинамических реконструкций [35] Преддобруджинский прогиб граничит с Молдавской впадиной по системе надвигов северной вергентности и относится к передовому или, возможно, к тыловому прогибу, сложенному характерными морскими формациями палеозоя, перекрытыми отложениями триаса.

Одесско-Джанкойский рифтогенный мезо-кайнозойский прогиб (палеорифт) охватывает большую часть СЗ шельфа Черного моря [26]. Глубокая мел-палеоген-неогеновая депрессия прогиба имеет широтное простирание и выполнена мощной толщей отложений. Западное продолжение палеорифта по системе грабенов накладывается на палеозойские комплексы Преддобруджинского перикратоного прогиба. По мнению ряда авторов прогиб является шовной зоной сочленения древней платформы и Скифской плиты [26]. В наиболее погруженной части прогиба выделяются два односторонних грабена: Южно-Голицинский и Южно-Михайловский, разделенные Центрально-Михайловским выступом [38]. Южно-Голицинский грабен осложнен в своей северной части Голицинско-Шмидтовской зоной горстообразных поднятий, а Южно-Михайловский – Сельско-Тарханкутской. Важную роль в строении перечисленных структур играют выделяемые авторами зоны Одесского (Одесско-Синопского) и Николаевского разломов, т.к. предполагается, что по зоне Николаевского разлома на границе раннего и позднего мела происходило смещение всего Крымс-

кого блока в южном направлении с разворотом против часовой стрелки [39]. Разлом рассекает всю толщу земной коры и прослеживается по распределению мощностей и фаций мезо-кайнозойских отложений.

К локальным структурам платформенного чехла относятся антиклинальные поднятия, сгруппированные в субширотные зоны и ориентированные вдоль зон разрывных нарушений: Это поднятия Голицина, Шмидта, Каркинитское, Архангельского, Западно-Оленевская (северная зона) и Гамбурцева, Штормовое, Штилевое, Прибойное, расположенные вдоль южного крыла разломов.

Акватория Каркинитского залива принадлежит Каркинитско-Северо-Крымскому прогибу. Северный его борт, наложенный на край Восточно-Европейской платформы, представляет собой пологопадающую на юг моноклиналь. Южной границей прогиба является склон Килийско-Змеиного и Центрально-Крымского поднятий. Прогиб приурочен к зоне сочленения древней и молодой платформ и является глубокой асимметричной депрессией субширотного простирания, выполненной мощной (до 10–11 км) толщей нижнемеловых – миоцен-плиоценовых отложений. Структура рассматривается также в качестве тыловой (рифтовой) зоны в составе Северо-Крымского прогиба, включающего разделенные Каркинитский и Сивашский грабены [35]. В центральной и южной частях прогиба выделяются зоны локальных поднятий: Гамбурцевско-Меловая, Голицынско-Межводненская и Бакальско-Татьяновская, формирование которых связано с региональными, длительно развивающимися зонами сдвиговых дислокаций. Наиболее погруженной частью Каркинитско-Северо-Крымского прогиба является Михайловская депрессия, расположенная к западу от Тарханкутского полуострова [36].

Каламитско-Центрально-Крымская зона поднятий охватывает Черноморско-Каламитский вал, кулисообразно сочленяясь на западе с валом Губкина. Эта структура является западным продолжением Новоселовского поднятия Равнинного Крыма, ограниченного Альминской впадиной и флексурно-разрывной зоной, прослеживаемой южнее Тарханкутского полуострова. Западный фланг структуры контактирует с восточным погружением Килийско-Змеиного поднятия по меридиану г. Николаева. По системе разломов Черноморско-Каламитский вал на севере переходит в зону Одесско-Джанкойского рифтогенного прогиба.

Платформенная структура Альминской впадины раскрывается в сторону глубоководной части Черного моря и представляет собой приосевую зону палеоподнятия, располагавшегося западнее Крыма в пределах Черного моря [38].

В строении восточной части шельфа, примыкающей к Крымскому полуострову, важную роль играют тектонические структуры Горного Крыма. Обособленная область шельфа, примыкающая к Южному Берегу Крыма, непосредственно связана со структурами киммерийской складчатости Главной гряды Горного Крыма и фактически является ее подводным продолжением. На всем протяжении континентального склона от ЛПМ до Форосского выступа и далее до меридиана г. Алушта в тектоническом строении склона участвуют структуры

Западно-Крымского, а восточнее, до Феодосийского залива – Восточно-Крымского синклинориев. Керченско-Таманская область шельфа пространственно связана с погружением альпийских складчатых структур Горного Крыма и Керченского периклинория [39].

Полученные к настоящему времени факты [16] позволяют отнести Прикрымскую часть шельфа и континентальный склон Черного моря к области относительно молодой (меловой) палеоостровной вулканической дуги в зоне сочленения альпийских, байкальских и герцинских тектонических структур.

Находки отложений, маркирующие древние береговые линии литификаты, содержащие пресноводную сармат-карангатскую фауну, были обнаружены на значительных глубинах [40]. Место нахождения этих пород и приуроченность их к подножью континентального склона позволяют поддержать точку зрения об относительно молодом (неоген-антропогеновом) возрасте формирования Черноморской впадины. В пользу вероятно быстрых опусканий отдельных участков склона, свидетельствуют находки мелководной фауны в полях илистых отложений на глубинах 1000–1500 м в Феодосийском районе [41].

В соответствии с принятым геотектоническим районированием [19] северная окраина континентального склона Черного моря расположена в зоне сочленения двух геотекстур: Добруджинско-Западно-Анатолийской и Кавказско-Восточно-Анатолийской. Различия в тектонической истории развития и в особенностях их геологического строения являются основными факторами дифференциации склона на три области: Западно-Черноморскую, Крымскую и Керченско-Таманскую [42].

Западно-Черноморская область расположена в пределах герцинского фундамента, сложенного моноклинальными слоями, пологими локальными складками пород мезозоя и палеоген-неогена. Эта область не отличается повышенной тектонической активностью и является периферией впадины, по которой в олигоцене были заложены тыловые компенсационные прогибы с мощными толщами терригенных осадков. В конце миоцена дифференцированные тектонические движения создали пологие линейные складки. В сводовых частях антиклиналей нагнетавшийся глинистый материал осложнял складки проявлением диапиризма и, вероятно, грязевого вулканизма [44]. При проведении исследований [40, 44, 45] здесь были установлены поля аномальных газовыделяющих факелов и одиночные газовые выбросы, а также геологические структуры, сопоставимые с грязевулканическими сопками Керченско-Таманской области.

Подводное продолжение альпийских складчатых структур Горного Крыма охватывает восточную область континентального склона и пространственно принадлежит Кавказско–Восточно-Анатолийскому сегменту.

Керченско-Таманская область расположена в своеобразной тектонической переходной зоне, разделяющей области поднятий и геологических структур Крыма и Кавказа. В юго-восточной части Керченского полуострова выделяется Правдинский глубинный разлом [46] с амплитудой смещения до 0,5–1 км,

участвующий в разграничении Черноморской котловины от Крымско-Кавказской горно-складчатой области. Геоморфологическим проявлением тектонической депрессии в этой переходной зоне служит развитие Керченского пролива [47].

Основная роль в разграничении Западно-Черноморской, Крымской и Керченско-Таманской областей принадлежит развитию зон Одесско-Синопского разлома [48, 59], являющегося также шовной зоной, разделяющей структуры Горного Крыма, Добруджи и Керченско-Чкаловского глубинного разлома [50]. Пространственно зона Одесско-Синопского разлома охватывает область развития ЛПМ и сопряжена с полями активного газовыделения. Согласно тектоническим реконструкциям [10] Одесско-Синопский (Трансчерноморский) глубинный разлом выделяется в геофизических полях, а также по различному характеру геологического строения разделяемых им блоков. В рифее и палеозое к западу от него преобладали опускания и накопились осадки мощностью от 2 до 5 км. К востоку от разлома южный край ВЕП был приподнят и служил областью сноса.

Верхняя часть и подножье континентального склона расположены в области сочленения крупнейших структур фанерозоя шовных коллизионных зон. Такой региональной тектонической структурой, ограничивающей подножье склона, является зона сочленения южного крыла структур Горного Крыма с Черноморской впадиной – Ломоносовская транскоровая зона разлома [16]. Роль этой структуры трудно переоценить: с ней связаны проявления сейсмической активности, а к узлу ее пересечения с зоной Одесско-Синопского глубинного разлома приурочены проявления магматизма и вулканизма. Анализ петрографических и геохимических особенностей горных пород, слагающих массив, позволяет провести аналогию с зоной Беньофа-Заварицкого и квазисубдукционной зоной поддвига коры океанического типа под континентальную кору Горного Крыма. Важнейшей региональной структурой является и зона Криворожско-Самсунского разлома, к которой приурочен резкий изгиб геологических структур Горного Крыма и его береговой линии.

Неотектонический и современный этапы развития шельфа Черного моря Украины характеризуются тенденцией общего погружения [10], начавшегося в неогене. Углубление и расширение шельфа и склона, продолжающееся и в настоящее время, носит блоковый характер. Согласно схеме современных (позднечетвертичных) движений континентальной террасы СЗ части Черного моря [34] к области интенсивного опускания отнесена часть дна глубоководной впадины Черного моря, полоса шельфа, прилегающего к Западному Крыму (особенно в юго-западной его части). Области слабого опускания с локальными крупными участками относительных поднятий охватывают большую часть площади СЗ шельфа к западу от меридиана г. Николаева, включая и Одесско-Дунайское побережье.

Наибольшие градиенты погружений испытывает область, примыкающая к альпийским структурам Горного Крыма. Здесь тектонические движения отличаются контрастностью, дробностью дифференциации, большими градиентами

ГЛАВА 2

Стратиграфия региона исследований

Стратиграфический диапазон отложений шельфа и континентального склона Украины охватывает палеозойский, мезозойский, кайнозойский и четвертичный периоды.

Палеозойские отложения в обнажениях и коренном залегании известны только в районе о. Змеиный, где они слагают его основание. Мезо-кайнозойские отложения выходят на поверхность морского дна в волноприбойной части Черного моря и в области континентального склона – на продолжении геологических структур Крыма. Наиболее широкое развитие получили четвертичные отложения, составляющие собственно МГЭС на большей площади черноморского шельфа Украины.

Стратиграфическое расчленение толщ выполнялось с учетом последних стратиграфических схем и результатов исследований, представленных в работах [53–57].

Ниже приведена краткая стратиграфическая характеристика отложений, слагающих поверхность морского дна и непосредственно являющихся основой МГЭС черноморского шельфа Украины и прилегающей области континентального склона Черного моря.

Мезозойская эратема (Mz). Триас – юрская (нерасчлененные) системы (T–J). Таврическая серия (T_3–J_1). Отложения таврической серии обнаружены драгированием на континентальном склоне в пределах ЛПМ [62], а также в полосе шельфа и континентального склона к югу от мыса Аю-Даг – пос. Рыбачье в виде обломков песчаников, алевролитов и аргиллитов, составляющих флишевый комплекс пород таврической серии. Песчаники мелкозернистые, крепкие темно-серые, слабослоистые. Алевролиты и аргиллиты серые, зеленовато-серые, плотные иногда плитчатые, некарбонатные. Глубины моря, на которых обнаружены эти отложения, составляют от 262 до 1254 м.

Юрская система (J). Юрские отложения встречены на глубинах от 354 до 1520 м в пределах ЛПМ и в полосе южнее

скоростей опускания. Интенсивность и контрастность движений снижается с запада на восток. В районе побережья Горного Крыма эти значения составляют 0,7–1,4 мм/год, но с учетом того, что его орогенный пояс испытывает воздымание от +2 до +4 мм/год, контрастность неотектонических движений оказывает существенное влияние на развитие рельефа [52]. Наибольшее влияние этого фактора ощущается в секторе южнее Форосского выступа континентального склона, где диагональным зонам разломов происходило контрастное погружение блоков склона во взаимодействии с широтными дислокациями.

Шельф СЗ сектора испытывает неодинаковое новейшее площадное погружение в областях, разделенных зоной Одесско-Синопского глубинного разлома. Западный блок имеет слабую тенденцию к погружению, в то время как к юго-востоку эти значения составляют 5–7 мм/год. Измерения современных движений свидетельствуют также и о наличии горизонтальных движений в сторону моря. Скорость их колеблется в районе г. Одессы от 3,5 до 20 мм/год [52]. Наиболее контрастные движения приурочены к активизированным зонам разломов.

Значительным явлением неотектонического, в т. ч. и современного этапа развития континентального склона, служат активные сейсмотектонические движения. Сейсмическая активность Черноморского региона приурочена исключительно к полосе, ограниченной с юга подножьем континентального склона. Зона очагов Крымских землетрясений уходит под Крымское горное сооружение и с ней связаны основные подвижки земной коры. Сейсмические процессы приводят к блоковым дифференцированным опусканиям огромных масс горных пород по зонам нарушений, ограничивающих эти блоки. Это отражается в разновысотности и разновозрастности блоковых ступеней, имеющих сбросовое заложение и наличие площадок с обратным уклоном.

г. Алушты – пос. Рыбачье. Породы представлены плотными, иногда плитчатыми темно-серыми аргиллитами, карбонатными, слабослоистыми, слюдистыми, песчаниками, а также серыми и темно-серыми глинами песчанистыми, плотными, комковатыми, иногда карбонатными [57]. В пределах ЛПМ к юрским отложениям относятся также комплексы эффузивных и интрузивных пород. Эти породы являются продуктами юрского этапа эволюции палеоостровной дуги на севере Черного моря. Это разнообразные вулканиты: пикробазальты, базальты, андезибазальты, дациты, плагиодациты, плагиориолиты; плутонические и гипабиссальные породы: габбро, диориты, тоналиты, плагиограниты.

В пределах Алуштинской части склона были установлены андезиты, туфы, диабазы, габбро-диориты и габбро-плагиограниты, относящиеся к породам среднеюрского возраста [16].

Меловая система (К). ***Нижний отдел ($К_1$).*** Меловые отложения осадочного генезиса представлены аргиллитами плотными, слабопесчанистыми, неслоистыми, карбонатными и трещиноватыми; реже встречаются алевролиты плотные, глинистые, карбонатные, слабослоистые. Выявлены они в пределах ЛПМ и Форосского выступа склона на глубинах от 790 до 1377 м. По аналогии с отложениями Горного Крыма их возраст датируется верхним альбом.

Верхний отдел ($К_2$). Отложения верхнего мела встречены в крупных обрывах Форосского выступа континентального склона на глубинах от 375 до 1156 м. Драгированием были подняты мергели плотные, глинистые; известняки плотные, глинистые; глины плотные, алевритистые и мелко-зернистые песчаники. В районе ЛПМ были обнаружены проявления меланжа, развитые в породах позднего мела и представлены тектонически переработанными участками матрикса, содержащего слаботектонизированные обломки (катаклазиты) пород того же состава [56]. По данным работы [60], возраст этих пород турон – коньякский, а сами породы содержат многочисленную фауну фораминифер: Marginotruncana linneiana, M. Marginata, M. Lapparenti.

Нерасчлененные меловые породы палеоостровной дуги ЛПМ. Породы вскрыты исключительно в обнажениях ЛПМ и связаны с процессами мелового этапа магматизма. Активная магматическая деятельность на этой юго-западной окраине Крымских геологических структур представлена как в эффузивной, так и в интрузивной формах. Проявления мелового магматизма, к которым относятся вулканиты и кристаллические породы, установлены как в средней, так и в нижней частях склона. Верхняя и наиболее пологая часть его занята осадочно-метаморфическими породами (до уровня изобаты 1000 м), а кровля их приходится на отметку 500 м. Ниже по склону развита мощная толща вулканитов, причем в восточной части развиты породы преимущественно базальтового состава, а на западе были обнаружены андезиты и андезито-базальты. От центральной части и до западного окончания массива вулканиты исчезают, сменяясь кристаллическими породами. В самой нижней части массива в коренном залегании установлены полнокристаллические плутонические породы; плагиограниты, тоналиты, диориты, габбро.

Кайнозойская эратема (Kz). Палеогеновая система (P). ***Палеоцен P_1.*** Палеоценовые слабосцементированные алевролиты и карбонатные кавернозные известняки были обнаружены на глубинах от 1046 до 1516 м на западном борту Форосского выступа континентального склона [57].

Эоцен P_2. Эоценовые отложения – алевролитовые мергели серые и плотные крупнокристаллические известняки с нумуллитами установлены только на крайней южной оконечности Форосского выступа на глубине 1516 м.

Олигоцен P_3. Майкопская серия (P_3 тк). Майкопские отложения встречены на глубинах от 510 до 1516 м к юго-востоку от г. Алушты. Литологический состав отложений представлен алевролитами, аргиллитами, песчаниками и уплотненными глинами.

Неогеновая система (N). ***Средний миоцен (N_1^2).*** Породы среднего миоцена обнаружены юго-восточнее г. Алушта на глубинах моря 1480 и 1507 м. Они представлены темно-серыми с зеленоватым оттенком плотными глинами, включающими в себя фораминиферовые прослои, часто пиритизированные.

Верхний миоцен (N_1^3). Породы слагают крылья брахиантиклинальных структур Керченско-Таманской области континентального склона. Сейсмоакустическими исследованиями установлено, что эти породы срезаны отложениями четвертичной системы. Контакт между ними имеет четко выраженное угловое и стратиграфическое несогласие. Литологический состав пород; глины и песчаники.

Плиоцен (N_2). Отложения плиоцена широко развиты в крайней восточной части континентального склона, где они выполняют синклинальные структуры и несогласно перекрываются породами антропогена. По данным работы [61] на траверзе г. Судак на глубине 1804 м обнаружен галечник, подстилаемый глинами, включающими фауну киммерийского, эвксинского возрастов. Аналогичные отложения обнаружены и в 21 км южнее г. Алушта: глины, илы, обогащенные раковинным детритом.

Антропоген (N_2^3–H). Отложения антропогена с резким стратиграфическим и угловым несогласием залегают на нижележащих горизонтах: от плиоценовых к востоку и западу от южного берега Крыма – до мезозойских в Крымском секторе. Отложения эоплейстоцена, плейстоцена и голоцена покрывают практически сплошным чехлом поверхность коренных пород шельфа и континентального склона, формируя геологическую среду МГЭС, но отсутствуют в местах его наиболее крутых участков, в частности, в пределах ЛПМ, в средней части склона к югу от полосы г. Ялта – мыс Сарыч и в некоторых участках верхней части склона юго-восточнее г. Ялта. Четвертичная система представлена плейстоценовыми и голоценовыми отложениями морской, лиманной, аллювиальной и субаэральной фациями.

В распределении фаций значительную роль сыграли морфоструктурные особенности шельфа и континентального склона, в связи с чем на рассматриваемой территории выделяют три фациальных района: СЗ шельф (от устья

Дуная до Перекопского перешейка), шельф Южного Крыма и Керченско-Таманский шельф [62].

Северо-западный район представлен поверхностью выравнивания позднеплейстоценового возраста, сложенной отложениями огромной погребенной аллювиальной долины с песчаными новоэвксинскими аренами.

Южно-Крымский район отличается узкой полосой шельфа, в области которого получают развитие верховья каньонов континентального склона. Поверхность его имеет большую крутизну и характеризуется активной неотектонической и современной тектонической деятельностью.

Район Керченско-Таманского шельфа представлен широкой полосой поверхностей выравнивания позднеплейстоценового времени, на которых зарождаются верховья каньонов, а в прибрежной полосе развиты морские террасы.

Мощности антропогеновых отложений варьируют в широких пределах, в зависимости от их принадлежности к определенным морфоструктурным районам. Так, на большинстве участков верхней части континентального склона Феодосийского залива они представлены маломощной пачкой пород, а к югозападу от г. Ялта общая их мощность достигает 400 м; на траверсе Керченского пролива 250–300 м. Распределение пород по латерали сложное и часто весьма изменчивое даже на сравнительно небольших площадях дна. Минимальные мощности пород антропогена приурочены к верхней пришельфовой части склона и составляют обычно несколько десятков метров или вовсе отсутствуют. В районе к югу от г. Ялта до мыса Сарыч мощности отложений антропогена наиболее изменчивы в верхней части склона, где они колеблются от нуля до первых сотен метров. Максимальные толщи осадков приурочены к нижней пологого наклонной части. Например, в районе г. Ялта – мыс Меганом их мощности уже в средней полосе склона составляют 500 м и увеличиваются по направлению к подножью. В районе к югу от Керченского полуострова развита зона максимальных мощностей антропогена, достигающая повсеместно как в верхней, так и в средней части склона значений 1000 м.

В толще антропогена Южно-Крымского района выделяются пять сейсмостратиграфических горизонтов, разделенных отчетливо выраженными несогласиями. Эти горизонты соответствуют: эоплейстоцену (гурийский горизонт); нижнему звену четвертичной системы (чаудинский горизонт); среднему звену четвертичной системы (древнеэвксинский горизонт); верхнему звену четвертичной системы (карангатский, посткарангатский горизонты).

Эоплейстоцен (E). Гурийский горизонт (E_{gur}). Отложения гурийского горизонта относят по абсолютным датировкам к возрасту от 960 тыс. до 1,6 млн лет. Они распространены на нижней кромке шельфа и континентальном склоне, их отсутствие установлено только в верхней крутой части склона, где они уничтожены денудационными процессами, а также на плоскостях сместителей пологих сбросов.

На СЗ шельфе «гурийская чауда» тяготеет к погруженным частям впадины и внешнему краю шельфа. Отложения представлены плотными глинами и тер-

ригенно-ракушечниковыми горизонтами, местами литифицированными, с фауной *Didacna tschaudae guriana* Liv., *crassa* Eichw., *D pleistopleura* Davit., *D. olla* Liv., *Dreissena rostriformis tschaudae* Andrus., *Dr. rostriformis abchasika* sub. sp. nov. и др.

На континентальном склоне выходы отложений этого возраста обнаружены в полосе от мыса Сарыч до г. Алушта, где они представлены глинистыми отложениями, в смеси с галькой и многочисленной гурийской фауной и ракушечным детритом. Их мощности колеблются в широких пределах, но в среднем составляют 200 – 300 м. В районе мыса Сарыч – г. Судак установленная мощность гурийских отложений, слагающих здесь ядра синклинальных прогибов, составляет около 500 м.

Четвертичная система. Нижнее звено (I) PI. Чаудинский горизонт (m PIcd). Это наиболеее древние четвертичные отложения шельфа и континентального склона Украины. На шельфе их распространение не носит площадного характера, в северо-западном районе осадки горизонта встречаются спорадически в его восточной части на поднятии Голицина. Здесь они представлены: алевритами светло-зеленовато-серыми, слабопесчанистыми, кварцевыми с остатками *Dreissensia pontocaspia* Andrus, Dr. *tschaudae* Andrus, *Didacna crassa nalivkini* Wass, *D. Triganoides chasaricus* Sr., *Monodacna caspia* Eichw; ракушечником светло-желтым, песчанистым, литифицированными обломками раковин дрейссен; песками светло-желтовато-серыми, кварцевыми, мелко-и равномернозернистыми обломками литифицированных ракушечников и остатками фауны. В прибрежной полосе к юго-западу от Днестровского лимана под толщей морских голоценовых и континентальных плейстоценовых отложений встречены субаэральные лессовидные породы – континентальные аналоги нижнеплейстоценовых морских образований: глины лессовидные, алевриты глинистые, глины красно-бурые, глины с включениями карбонатных стяжений. Мощность отложений на шельфе варьирует от 6,3 до 8,1 м.

В пределах континентального склона отложения горизонта залегают несогласно на подстилающих породах. Характер несогласий резко изменчив: от отчетливо угловых и срезаний верхней части – на положительных структурах, до скрытых – в отрицательных структурах у подножия склона. Выходы пород установлены к югу от г. Ялта и представлены темно-серыми, зеленоватыми и серыми глинами с включениями гальки, гравия и ракушечного детрита и целыми створками дрейссен и дидакн. Наиболее характерные мощности отложений: 100–150 м, но в центральных частях отрицательных структур они возрастают до 200 м и более, а в ядрах положительных структур мощности сокращаются до 10–15 м.

Среднее звено (II) PII. Древнеэвксинский горизонт (lm PII dev). Древнеэвксинский горизонт состоит из двух пачек отложений, разделенных четким несогласием и сложенных преимущественно песчано-глинистыми отложениями. В кровле каждой пачки присутствуют морские отложения со смешанным

типом солоноватой и морской моллюсковой фауны, которые свидетельствуют о вторжении средиземноморских вод в полуморской эвксинский бассейн. Наиболее широко отложения древнего эвксина представлены в Керченско-Таманском районе; на северо-западе они имеют локальное распространение на поднятии Голицина. Мощность отложений на СЗ шельфе не превышает 1,1 м. Отложения представлены песками желтовато-белыми, мелкозернистыми, кварц-карбонатными с окатанными обломками чаудинских моллюсков. Фауна представлена *Dreissensia polymorpha* Pall., *Theodoxus transversalins* Pfeif., *Hydrobia ventrosa* Mut., *Didacna pontocaspia* Pavl., *D. Baericrassa* Pavl., D. *Subpyramidata* Prav., *Dreissensia rostrivormis* Desh. В районе Жебриянской бухты отложения представлены алевритистыми глинами с многочисленными корнями растений, инкрустированных оксидами железа, с редкими включениями карбонатов, содержащих линзы тонкозернистых песков и прослоями мелкого ракушечника; глинами серыми песчанистыми с линзами песков тонкозернистых; толщей глин алевритистых, сильно ожелезненных с включениями карбонатов. Общая мощность отложений составляет здесь 5,7 м.

В Крымском секторе континентального склона породы горизонта широко распространены в средней и нижней частях (мыс Меганом – мыс Опук), где они перекрываются пачкой пород позднеплейстоцен-голоценового возраста незначительной мощности. В полосе склона г. Алушта – мыс Сарыч площадь развития отложений древнеэвксинского горизонта значительно меньше. Участки выходов пород связаны с зонами доновоэвксинского развития и имеют сложную конфигурацию. Породы представлены глинами светло-серыми, зеленовато-серыми, черными, пятнистыми, песчанистыми, в отдельных интервалах известковистыми, слоистыми, иногда глины содержат прослои песчаников, тонкозернистых кварцево-слюдистых песков.

На траверзе г. Судак на глубине 1804 м были выделены галечники с фауной эвксинского возраста (*Monodacna, Dreissena polymorfa, Dreissena Polymorfa, Dreissena* из группы *Dr. rostriformis,* обломки *Didacna*) [62]. Этот факт очень важен для понимания истории геологического развития Черного моря, так как в этом районе выходы пород горизонта слагают обширные площади континентального склона на глубинах запредельных для существования указанных видов фауны.

Максимальные мощности отложений горизонта характерны для средней и нижней частей континентального склона; в полосе г. Ялта – Феодосийский залив они составляют более 200 м. В прибровочной части эти значения колеблются от 0 до 180– 90 м, составляя в большинстве случаев 50–120 м.

Верхнее звено (III) PIII. Карангатский – посткарангатский горизонты (m PIII krg-pkrg). Отложения горизонта широко распространены на Керченско-Таманском шельфе и на отдельных участках СЗ шельфа, на шельфе Южного Крыма их распространение пока не доказано. Мощность отложений на шельфе составляет 5–10 м.

В Керченском проливе осадки выполняют врез в сарматских и древнеэвксинских глинах и представлены серыми слоистыми глинами с раковинами *Paphia senensens* (Coc.), *Cardium edule* L., C. *Paucicostatum.* (Sow.), *Mytilus galloprovincialis* Lam. Выше залегают ракушечники с *Ostrea edulis* L. (устричные банки *Cardium edule* L., *Mytilus galloprovincialis* Lam, *Gastrana fragilis* (L), *Chlamus glabra* (L). В Феодосийском заливе и в районе южнее мыса Опук отложения горизонта представлены толщей ракушечниковых известняков, на северо-западном шельфе осадки карангата вскрыты скважиной у о. Долгий, где они представлены мощной песчаной пачкой. Пески мелкозернистые, кварцевые, с многочисленным детритом и целыми створками раковин преимущественно Cardium tuberculatum L, *edule* L. На поднятии Голицина осадки состоят из разнозернистых песков, переходящих в литифицированные известняки с многочисленным детритом раковин Theodoxus pallasi Zindh., hydrobia ventrosia Montagn и устриц. Ракушечник сложен раковинами устриц и гравийно-галечниковым материалом. На Днестровской банке отложения горизонта представлены двумя слоями: верхним – песчано-ракушечниковым и нижним – глинисто-алевритовым с солоноватоводной фауной с примесью каспийских форм. Ракушечники сильно литифицированы. Мористее пересыпи оз. Шаганы встречены отложения пляжа карангатского бассейна – мощная толща рыхлого ракушечника с многочисленными толстостенными раковинами родов Ostrea, Paphia и др.

На континентальном склоне отложения горизонта залегают с угловым или скрытым стратиграфическим несогласием на более древних породах и распространены практически повсеместно. Их отсутствие установлено на крупных участках континентального склона и в зонах доновоэвксинского размыва (линейной эрозии) поверхностей тектонических сместителей. В восточном секторе шельфа они присутствуют в днищах подводных ложбин и приурочены к опущенным тектоническим блокам. На площадях приподнятых блоков они уничтожены денудационными процессами. Литологический состав отложений включает в себя глины грязновато-зеленовато-серые, известковистые, неясно-слоистые, вязкие, с прослоями кварцево-детритовых песков, обильно насыщенных раковинами и раковинным детритом.

В районе к югу от горы Опук в верхней части склона встречены ракушечники, а в районе к югу от г. Судак – галечники, подстилаемые глинами.

Мощности отложений на склоне составляют в среднем 50 м, но в нижней пологой его части на участке южнее г. Ялта – мыс Меганом мощности увеличиваются до 80–100 м.

Новоэвксинский горизонт (lm P III nev). Отложения горизонта развиты практически по всему шельфу и континентальному склону. В составе новоэвксинских образований выделяются два горизонта: нижний (осадки послекарангатской регресси) и верхний – собственно новоэвксин. На СЗ шельфе отложения выполняют глубокий врез в породах мэотиса и понта, а в районе Одесской банки они залегают на верхнесарматских отложениях. В устьевой части Днеп-

ровского лимана они перекрывают континентальные образования верхнего плиоцена и прислонены к породам понта. На участке Днестровский лиман–Жебриянская бухта отложения залегают на плиоцен-четвертичных континентальных породах. Мощности осадков верхнего слоя шельфа выдержаны по площади и составляют около 10 м, а нижнего – до 20 м. Отложения горизонта характеризуются опресненной фауной каспийского типа с *Monodacna caspia* Eichw. и др. Основание горизонта представлено крупнозернистыми кварцевыми песками базального горизонта с галькой кристаллических и осадочных пород и фауной *Viviparus fasciatus* Mull., *Dreissena polymorpha* Pall., *Monodacna caspia* Eichw и др. Мощность горизонта не превышает 5 м, выше залегают разнозернистые пески кварцевые, слабоглинистые с включением опресненной фауны *Dreissena polymorpha* Pall., *D. Rostriformis Desh.*, *Lithoglyphus naticoides* Pfeif., *Theodoxus pallasi* Lind., *Micromelania sp.* и др. В верхней части толщи песков присутствуют прослои голубовато-серых глин и алевритов, а венчает разрез глинистый ракушечник с многочисленной фауной *Viviparus viviparus* L., *Monodacna caspia* Eichw., *Dreissena polymorpha* Pall., редко Cardium edule (L). В районе Одесской банки отложения представлены голубовато-серыми и серыми илами с включением растительных остатков и прослойками сапропелей. В приустьевых частях лиманов верхние горизонты сменяются толщей алевритов с включениями растительных остатков и прослойками торфов мощностью до 0,2 м (Днепровский и Днестровский лиманы).

На континентальном склоне участки отсутствия этих пород приурочены, в основном, к верхней, реже к средней части континентального склона. Диапазон глубин, на которых они были встречены, варьирует от 200 м (г. Алушта – пос. Рыбачье) до 1800 м (пос. Новый Свет); на траверсе мыса Форос отложения обнаружены на глубинах от 400 до 1400 м.

Новоэвксинские отложения, как правило, перекрываются породами нижнечерноморского горизонта или верхнечерноморскими илами. Обнажения новоэвксинских отложений встречены на крутых участках склона. Они представлены илами терригенными глинистыми и илами гидротроилитовыми с прослоями раковинного детрита и ракушечника. Механический состав новоэвксинских отложений неоднороден: от алеврито-пелитового ила, до песка. Грубозернистые отложения залегают, как правило, в зоне активных литодинамических процессов, с увеличением глубины моря количество грубообломочных частиц и детрита уменьшается. Полимиктовые разности песков встречаются на участках наиболее активной абразии и выноса терригенного материала. Алевритовые разности илов присутствуют в виде прослоев и примесей. Гидротроилитовые слои – черные, темно-серые илы, совместно с терригенными мягкопластичными светло-голубыми слоями, образуют особый «склоново-впадинный» тип новоэвксинского разреза. Вскрытая мощность отложений составляет 3,4 м.

Современное звено (H). Черноморский горизонт (mHc_1). Голоценовые осадки представлены разнообразными фациями, содержащими фауну среди-

земноморского типа и представлены двумя подгоризонтами. Отложения слагают небольшие террасовые уступы, участки с небольшим углом падения поверхности, водоразделы, тальвеги каньонов и промоин. Максимальные мощности отложений приурочены к подножью склона, где они достигают 4 м. На шельфе они представлены в основном мидиевыми илами с *Mytilus galloprovincialis* Lamk. На континентальном склоне и ложе впадины наиболее распространены морские отложения, включающие в себя мидиевые ракушечники, терригенные глинистые, сапропелевые, сапропелевидные, кокколитовые и сапропелево-кокколитовые илы.

В составе Черноморского горизонта выделяются два подгоризонта нижнечерноморский и верхнечерноморский.

Нижнечерноморский подгоризонт (mHc_1). На шельфе Черного моря осадки нижнечерноморского подгоризонта представлены толщей илов зеленовато-серых и темно-зеленых, с характерной «смешанной фауной» *Dreissena polymorpha* Pall., *Monodacna caspia* Eich., *Mytilus galloprovincialis* L., *Cardium edule* L., *exiguum* L. и др. В нижней части разреза породы содержат прослои ракушечника с фауной дрейссенид. В Керченском проливе слои представлены темно-серыми глинами мощностью до 10 м.

На континентальном склоне отложения подгоризонта слагают основание голоцена и представлены мидиевыми ракушечниками, а также сапропелевидными илами. Илы достигают мощности 3 м и перекрываются верхнечерноморскими осадками или выходят на поверхность морского дна. По гранулометрическому составу илы алеврито-пелитовые, реже мелкоалевритовые. Алевритистые разности отмечены в верхней части склона и в периферийных частях глубоководной впадины.

Верхнечерноморский подгоризонт (mHc_2). Отложения верхнечерноморского подгоризонта венчают антропогеновый разрез донных осадков Черного моря. На СЗ шельфе новочерноморские слои трансгрессивно перекрывают разновозрастные отложения и представлены серыми и темно-серыми илами с многочисленной фауной современных моллюсков, создающих ракушечниковые поля с различной пелитовой составляющей. Фауна характеризуется современными средиземноморскими видами с широким развитием пресноводных и солоноватоводных форм в приустьевых частях рек и лиманов. Мощности отложений на шельфе не превышают 2–2,5 м.

В пределах континентального склона отложения данного подгоризонта слагают поверхности подводных хребтов, не образуя значительных по размерам площадей залегания и отсутствуя в тальвегах каньонов и промоин. Верхнечерноморские отложения представлены здесь илами глинистыми терригенными, кокколитовыми и сапропелево-кокколитовыми. Мощность их достигает 2,5 м, максимальные значения отмечены у подножия материкового склона. Распределение глинистых терригенных илов на склоне мозаично, т.к. часть из них смыта и сплошной чехол осадков перекрывает лишь среднюю его часть до

глубин моря 600–1200 м. Кокколитовые карбонатно-терригенные илы развиты в основном в нижней части склона на глубинах от 800 до 1800 м в Крымской части шельфа и на 300–1700 м – в Керченско-Таманской.

Гравитационные отложения. Гравитационные отложения включают в себя осадки прибрежной части шельфа, каньонов подводно-эрозионных промоин и представлены крупнообломочным материалом: галькой, гравием, дресвой, песками, алеврито-песчанистой смесью. Заполнителем служит глинистый терригенный ил алеврито-пелитового или алевритового состава. Нередко отложения содержат раковинный детрит. Крупнообломочная фракция морских гравитационных отложений принадлежит осадочным и вулканогенным породам, слагающим как прибрежные массивы суши, так и подводный палеовулканический массив. Эти отложения приурочены к приурезовой части побережья, подножию континентального склона, но встречаются и в днищах каньонов как в верхней, так и в нижней частях тальвегов.

ГЛАВА 3

Геоморфологические особенности региона исследований

Черноморская впадина в целом рассматривается в составе трех основных мега-морфоструктур (геотектур): континентальной (подводная окраина материка – шельф), переходной (материкового или континентального склона) и субокеанической (ложе моря) [19].

Прибрежная отмель, составляющая основную часть шельфа, занимает 24% от всей акватории и развита, главным образом, в СЗ мелководной части моря. Площадь ложа (дно центральной котловины) составляет 36% акватории, остальная часть приходится на «переходную зону» – континентальный склон, причем наиболее крутая его часть (до изобаты 1000 м) охватывает лишь 3% площади акватории.

Украинский сектор черноморского шельфа охватывает обширную площадь СЗ сектора Черного моря, узкую полосу, простирающуюся вдоль Южного берега Крыма и расширяющуюся к востоку от мыса Меганом до акватории Феодосийского залива и Керченского пролива. Пространственное положение зоны шельфа ограничивается глубинами от 90 до 110 м, но у Южного берега Крыма (между Севастополем и Ялтой) и к югу от Керченско-Таманской области край шельфа опускается до глубин 140–160 м.

В морфоструктурном отношении рассматриваемый шельф входит в состав трех крупных неотектонических областей: Северо-Западной, Крымско-Южнобережной и Керченско-Таманской. Границами условного раздела выделенных областей являются зоны долгоживущих и активных (сейсмоактивных) разломов, являющихся границами раздела площадей с различным неотектоническим режимом.

Северо-западная область шельфа. Рельеф дна СЗ области шельфа Черного моря представляет собой слабоизмененный реликтовый субаэральный эрозионно-денудационный предголоценовый рельеф приморской равнины, который в связи с быстрым подъемом уровня моря был законсервирован и сохра-

нился значительно лучше, чем рельеф аналогичного возраста на суше. В формировании современного рельефа морского дна важнейшую роль сыграли абразионные и подводно-эрозионные и аккумулятивные процессы. Интенсивная абразия берегов привела к появлению абразионных террас (бенчей), аккумуляция благоприятствовала развитию банок, сложенных морскими осадками и подводных динамически активных береговых валов. Общепринято выделение четырех этапов голоценовой трансгрессии, в ходе которой сформировались террасы, фиксирующиеся древними береговыми линиями. В работе [51] выделяют ранненовоэвксинскую, средненовоэвксинскую, поздненовоэвксинскую, и раннечерноморскую, древнечерноморскую и новочерноморскую террасы. Согласно работе [59], многоэтапная трансгрессия на СЗ шельфе развивалась в средненовоэвксинский, поздненовоэвксинский, древнечерноморский и новочерноморский периоды. По данным работы [50] наиболее значимыми этапами эволюции обстановок осадконакопления являлись: предновоэвксинское время, в которое формировались мощные толщи аккумулятивных образований; беллингский межстадиал (между первой и второй стадиями новоэвксинской трансгрессии), в период которого размещались древние береговые линии узунларского и сурожского бассейнов; конец нового эвксина со стабилизацией береговой линии; атлантическое время с интенсивной ингрессией моря в сушу по речным долинам и абразией берегов; постатлантическое время с заполнением наносами Дунайского эстуария; фанагорийская регрессия, этап которой знаменовался формированием вдольберегового бара на участке от Дунайского лимана до дельты Дуная [64].

В пределах затопленной приморской равнины в недавнем прошлом располагались низовья крупных палеорек СЗ шельфа Черного моря: палео-Дуная, палео-Днестра, палео-Сарата, палео-Днепра и других. Это район плоского водораздельного пространства, расчлененного палеодолинами на отдельные возвышенности. Доголоценовый рельеф характеризовался высотами 20–30 м, но в дальнейшем перепады высот снивелировались флювиальными процессами с накоплением аллювиальных, лиманных и фрагментарно-морских отложений [63]. В СЗ части шельфа выделяются: Днестровская возвышенность, с глубинами вершинной поверхности 13–20 м и, расположенная южнее – Будакская с глубинами вершинной поверхности 17–20 м. В центральной северной части расположены Днепровско-Тендровская возвышенность с глубинами вершинной поверхности 40 м. В восточной части шельфа выделяется Тарханкутская возвышенность, приуроченная к южному краю обширной затопленной в настоящее время области современного Каркинитского залива с отметками глубин вершинной поверхности 15–20 м, и западному выступу Тарханкутского полуострова. Юго-восточная часть СЗ шельфа характеризуется резким увеличением глубин и наличием уступов, соответствующих древним морским береговым линиям на отметках 10, 20, 25, 50, 70 м.

Район западной части СЗ области шельфа. Район западной части шельфа представляет собой затопленную приморскую субаэральную равнину, раз-

деленную крупнейшими палеореками Причерноморья: палео-Дунай, палео-Днестр, палео-Сарата. Плоское «водораздельное» пространство осложнено Днестровской и Будакской возвышенностями. Поднятия Будакской возвышенности имеют субмеридиональное простирание и в виде пологих цепочечных выступов протягивается до о. Змеиный. Юго-восточный ее выступ образован двумя группами мелких локальных поднятий неправильной конфигурации. Местами плоские вершинные поверхности водораздельных возвышенностей осложнены пологими гребневидными поднятиями дна, на 2–3 м возвышающимися над общей поверхностью. Особенно характерны такие формы для Днестровской возвышенности (субмеридиональная Днестровская банка с глубинами менее 10 м, субширотный вал у пережима Днестровского желоба с глубинами около 20 м).

Возвышенности разделены долинами палеорек; Будакская возвышенность отделена от Днестровской долиной палео-Днестра с глубинами 25–35 м и более. На западе она ограничена субмеридиональной депрессией дна, известной под названием «Палео-Сарата». К западу от долины палео-Днестра развивается сложная подводно-эрозионная сеть палео-Дуная и его притоков, долина р. Когильник, долина Килийского гирла и др. Северо-восточнее авандельты Дуная развита сеть подводных водотоков, образованная продолжением рек Когильник, Сарата, Алкалия, Хаджидар, впадающих в современное оз. Алибей. Эти реки сливаются в единую речную систему, расположенную в 35 км мористее оз. Шаганы. Здесь они создают палеозалив (изобата 20 м), впадающий в Килийско-Сулинское палеорусло Дуная в районе изобаты 55 м, на расстоянии около 110 км от пересыпи о. Сасык. Килийско-Сулинская палеодолина Дуная имеет ширину до 5 км, в которой прослежено два стратиграфических вреза – на глубину 30 и 80 м. Палеодолина простирается в направлении внешнего шельфа и континентального склона.

Аналогичные депрессии прослеживаются по всей акватории шельфа. Гидроакустическими исследованиями морского дна установлено, что эти долины в большей своей части заполнены современными морскими осадками, и проявляются в современном рельефе морского дна чаще всего фрагментарно. Особенно четко эти долины выделяются в верховьях подводных каньонов континентального склона, на участках активизации тектонических движений или в узлах пересечения активных тектонических зон.

Восточной границей этой области условно является зона Одесско-Синопского глубинного разлома, по оси которого происходит изменение характера неотектонического режима площади шельфа. Западный блок имеет слабую тенденцию к погружению, в то время как к юго-востоку эти значения составляют 5–7 мм/год.

Район Змеиноостровского выступа СЗ области шельфа. Своеобразный и единственный в своем роде для акватории Черного моря геоморфологический район, формирование рельефа которого непосредственно связано с эндогеодинамическими процессами и тектоническим строением территории. Активное воздействие тектонических движений раздвигового, сдвигового и надвигового типов, вертикальные перемещения, временной диапазон воздействия которых

датируется мезозоем – четвертичным временем, привели к формированию основных морфоструктур и преобладающего структурного типа современного рельефа этого района. Большинство из перечисленных тектонических структур имеют отражение в рельефе современной поверхности морского дна в виде продольных депрессий, линейно ориентированных в пространстве и разделяющих поднятые «водораздельные поверхности» или подводные хребты.

Район центральной части СЗ области шельфа. Относительно мелководная часть морского дна с выравненным рельефом является непосредственным продолжением прилегающей суши до свала глубин в области континентального склона. Значительная часть морского дна занята обширной полого-понижающейся аккумулятивной равниной со средним уклоном $1–3^0$. В этом районе получили развитие наибольшие в Черном море косы: Тендровская и Джарылгач, представляющие собой вытянутые субширотно-аккумулятивные тела, формирование которых произошло на рубеже каламитского и джеметинского времен. Косы отделены от суши системой заливов: Джарылгачским, Егорлыцким и др. В северной части района выделяется Тендровская возвышенность, прилегающая к югу к Тендровской косы. Здесь развиты цепочки и гряды овальных пологих локальных выступов широтного простирания. В прибрежной зоне у аккумулятивных берегов выделяются динамически активные подводные песчаные валы, расположенные кулисообразно к берегу. У абразионных берегов прослеживается зона абразионных террас-бенчей, что особенно характерно для Одесского побережья, где развиты останцы понтических известняков, а бенч сложен мэотическими глинами, осложненными оползнями. Аккумулятивный рельеф понижений является унаследованным от доголоценового этапа истории развития и захоронен под толщей современных морских осадков. К крупнейшим аккумулятивным формам рельефа относится Одесская банка, имеющая асимметричное строение, за счет обрезающего ее с севера Днепровского желоба – палеодолины Днепро-Бугского лимана. Рельеф поверхности банки выравненный, в северной части – слабохолмистый. Основанием ее служит аллювиальная терраса. Днепровский желоб в начале голоцена являлся долиной реки, затем лиманом, который был затоплен морскими водами в новочерноморское время.

Аллювиальная затопленная равнина была сформирована в условиях неоднократной перестройки крупных палеоречных систем Днепра, Днестра, Сараты, Дуная, и др. Процессы повторений регрессий и трансгрессий действовали на протяжении всего плиоцен-четвертичного времени. Благодаря этому, в строении аллювиальной равнины принимают участие песчано-глинистые отложения наложенных террас и дельт.

Погребенные долины, сформировавшиеся во время последней новоэвксинской регрессии, хорошо выражены в рельефе. Ширина долин варьирует в пределах от 1–2 до 5–6 км, а их долины «врезаны» в поверхности «водоразделов» на 15–20 м. Все долины выходят к уступу бровки шельфовой зоны и дают начало подводным каньонам континентального склона. Значительную роль

в формировании рельефа шельфа здесь сыграли также морские абразионные и аккумулятивные процессы. Благодаря им во время трансгрессий происходило нивелирование поверхностей шельфа и постепенное сглаживание рельефа аллювиальной равнины, о чем свидетельствуют мощности современных морских отложений: от 0,1 м на «водоразделах» и до 3,5 м – в днищах долин. Бровка шельфа расположена на глубинах до 120 м и выражена в рельефе резким перегибом дна от $1–10^0$ до 20^0.

Район восточной части СЗ области шельфа. Северная часть района принадлежит морфоструктуре Каркинитского прогиба и приурочена к области современного мелководного Каркинитского залива, расположенного между Причерноморской мегавпадиной и Тарханкутским валом Скифской плиты. Этот район является своеобразной затопленной платообразной поверхностью, расчлененной долиной палео-Каланчака (пра-Днепра). Неотектонический режим морфоструктуры Каркинитского прогиба более стабилен, в отличие от опускающейся Каркинитско-Присивашской впадины, что предопределило здесь развитие аккумулятивно-эрозионного рельефа. Северное побережье залива характеризуется наличием абразионной террасы в известняках мэотиса шириною от 10 до 300 м, а в районе сел Лебедевка – Курортное – до 10 км. Южное побережье залива осложнено системой банок и кос – Чурюмской и Бакльской.

Южная часть района, прилегающая к западному побережью Крыма (южнее Тарханкутского полуострова), носит совершенно обособленный характер как по своим морфометрическим параметрам, так и геоморфологическим особенностям: высокому градиенту погружения глубин, наличию уступов, соответствующих древним морским береговым линиям; отчетливое проявление в рельефе морского дна палеодолин рек Донузлав, Сасык, Альма, Кача; резкое сужение шельфа по мере нарастания абсолютных отметок поверхности суши в зоне перехода от Равнинного Крыма к Горному. Положительные тектонические движения, активно проявившиеся в плиоцене, обусловили отражение геологических структур в рельефе подводного продолжения Тарханкутского вала, появлению форм, характерных для подводных обнажений коренных меловых пород. На западном продолжении вала в области шельфа выделяется Тарханкутская возвышенность, вытянутая в сторону Будакской возвышенности. Наиболее характерным проявлением связи форм рельефа с тектоническим строением района является развитие переуглубленного вреза подводного продолжения оз. Донузлав, имеющего несомненную тектоническую природу и наследующего положение южного краевого шва – раннекиммерийского рифта. Общее поднятие испытывают и морфоструктуры Новоселовского вала, что также нашло свое отражение в характере рельефа прибрежной зоны шельфа.

На границе с опускающейся Альминской впадиной, в силу контрастности неотектонических движений, активизировались процессы эрозионного расчленения и заложены крупные эрозионно-тектонические депрессии озер Сасык и Кизил-Яр. Общее погружение Альминской впадины, примыкающей к шельфу

в южной части района (Каламитский залив), обусловлено интенсивными нисходящими (компенсационными) неотектоническими движениями, сопровождающимися миграцией рек в прибрежно-морской зоне и в области шельфа. Район Каламитского залива до траверза мыса Лукулл представлен плоской слабонаклоненной на запад равниной, осложненной невысокими валообразными возвышенностями. Южнее мыса Лукулл выделяются система грядовых уступов, являющихся денудационными реликтами коренных пород и приуроченных к отметкам, в м: 2–3, 18–20 и 32. Подошва второй гряды возвышается над уровнем дна на 8–9 м. Поверхности грядовых возвышенностей достигают ширины 600–800 м (вторая гряда) от 3 до 15 км (третья гряда).

Таким образом, этот район является своеобразной зоной перехода морфоструктур шельфа равнинно-платформенных областей к морфоструктурам горной области.

Крымско-Южнобережная область шельфа. В строении Крымско-Южнобережной области шельфа нашли свое отражение разнопорядковые морфоструктуры, обусловленные динамическим развитием основных тектонических элементов мегаантиклинали Горного Крыма, генетически связанных с новейшей активизацией разновозрастных складчатых сооружений, образующих его гетерогенное многоэтажное доальпийское основание.

Западный сектор шельфа пространственно и генетически связан с морфоструктурами Юго-Западного синклинория Горного Крыма: складчато-глыбовыми хребтами, разделенными межгорными эрозионно-тектоническими котловинами. Наиболее крупная морфоструктура района – Форосская образует выступ, охватывающий значительную, наиболее расширенную часть Южнобережно-Крымского шельфа. Для него характерны резкие перепады глубин, связанные с развитием блоковых движений по активизированным зонам разломов и с горизонтальными перемещениями по листрическим разломам. Формирование рельефа происходит в условиях контрастных новейших тектонических движений: восходящих на суше и нисходящих в области шельфа. Полоса шельфа, прилегающая к Южному берегу, по-своему характеру соответствует морской аккумулятивной равнине с отдельными локальными поднятиями и «переуглубленным» внешним краем. Образование ее происходило в условиях интенсивного опускания, что и привело к формированию выравненного аккумулятивного рельефа и накоплению мощных толщ голоцена. От Севастополя до мыса Сарыч зона шельфа сужается до 15–16 км, а далее к востоку расширяется до 30 км. На отдельных участках отмечается резкое сужение шельфа до 10–11 км (мыс Ай-Тодор). Внешний край шельфа располагается на глубинах от 125–140 до 160–180 м в западной части и на 130–140 м – в восточной. Варьирование глубин бровки шельфа (переуглубление) объясняется, очевидно, дифференцированной степенью интенсивности опусканий. В рельефе шельфа четко выражены несколько ступеней. В западной части выделяются три уровенных поверхности, расположенные на отметках 55–60, 80–90 и 105–115 м. Восточнее мыса Сарыч ступени расположе-

ны на отметках 80–95, 105–115 и 130–135 м. Их поверхности осложнены невысокими поднятиями, ориентированными параллельно береговой линии, и являющимися остатками древних береговых баров, снивелированных абразионными процессами и перекрытых затем более молодыми отложениями [65].

От Ялты до Алушты ширина шельфа варьирует от 4–5 (Аюдаг) до 10 км (Алушта). Характерной особенностью его является ограниченная ширина и фрагментарность абразионно-аккумулятивных уровней на глубинах 30–35 и 105–115 м. Уровень глубин 80–95 м выражен более четко и прослеживается на всем своем протяжении. В работе [65] отмечается, что в береговой зоне имеются неровности дна, сформировавшиеся реками при более низком положении моря и не компенсированные к настоящему времени осадками. Полоса шельфа, как отмечают многие исследователи, осложнена подводно-эрозионными понижениями – верховьями каньонов континентального склона, по которым происходит сток терригенного материала в глубоководную часть котловины. Борта понижений не имеют подводных абразионных уступов, а ширина и выравненность днищ указывают на отсутствие постоянного направленного стока.

Центральный сектор занимает часть рассматриваемой области шельфа, приуроченную к зоне раздела основных синклинориев Горного Крыма и к развитию поперечной структуры Салгиро-Октябрьского глубинного разлома. Это наиболее узкая часть шельфа, с которой связано развитие значительной по своим размерам подводной эрозионно-тектонической депрессии, переходящей к югу в Алуштинский каньон континентального склона.

Восточный сектор данной области шельфа принадлежит морфоструктуре Юго-Восточного синклинория Горного Крыма. Она построена значительно сложнее, что обусловлено периодически возобновляющимся воздействием древних разновозрастных северо-западных и северо-восточных тектонических структур. Наибольший суммарный эффект такого воздействия наблюдается в западной области сектора, примыкающей на суше к району горных массивов: Демерджи и Караби-Яйла. На суше и в подводном продолжении сочленения указанных массивов заложен обширный эрозионно-тектонический мегацирк, приуроченный к межблоковым дислокациям и продолжающийся в пределы континентального склона. Восточнее, в районе выступа мыса Меганом область шельфа вновь начинает расширяться, достигая максимума в районе Феодосийского залива. Этот участок сопряжен с общим снижением горной цепи Крыма, вызванным замыканием погребенных герцинских сооружений, контролирующих положение восточной оконечности горного массива. Здесь вновь проявляется закономерное увеличение площади прилегающего шельфа в связи со снижением абсолютных отметок поверхности суши и наблюдается исчезновение подводно-эрозионных долин. Склон шельфа очень пологий, уровенные поверхности представлены ступенью на отметках глубин 50–60 и 80–95 м. Уровневые поверхности сужаются к мысу Меганом. К Феодосии и Феодосийскому заливу шельф расширяется до 40–45 км. Здесь четко прослеживаются уровенные по-

верхности, развитые на отметках, м: 20–25, 30–35 и 50–60. Наиболее расширена площадь уровенной поверхности 50–60 м и сужена до 1,5 км площадь поверхности на уровне 80–90 м.

Керченско-Таманская область шельфа. По своим геоморфологическим и морфоструктурным особенностям Керченский и Таманский полуострова и прилегающий к ним шельф, носят обособленный характер. Участок шельфа, принадлежащий майкопской Юго-Западной равнине Керченского полуострова, представлен плоской полого-снижающейся равнинной поверхностью. В зоне Внепарпачской складчатой морфоструктуры характер рельефа изменяется, что фиксируется рубежом возвышенности горы Опук и проявлением структуры Парпачского гребня – появлением на шельфе островов Парус. Этот же участок приурочен к Правдинскому глубинному разлому, играющему важную роль в общей сейсмичности района [46]. По данным подводного сейсмоакустического профилирования эта зона осложнена протяженным разломом северо-западного простирания, где к нему приурочены новейшие (5–10 тыс. лет) катастрофические опускания дна в виде Кубанского каньона [66]. Восточнее поверхность шельфа носит более расчлененный характер, на что влияет также вынос терригенного материала из Керченского пролива и образование по латерали огромного конуса выноса, охватывающего область шельфа, континентальный склон и часть глубоководной впадины Черного моря. Для Керченско-Таманского сектора характерно расширение 50–60 -метрового уровня и сужение ширины 80–95-метрового до 1–2 км. По предположениям последний перекрыт мощной толщей взвешенного материала, выносимого реками Северного Приазовья [65] .

ГЛАВА 4

Аквальная система черноморского шельфа Украины и ее влияние на МГЭС

Экологические события, затрагивающие водную толщу и процессы жизнедеятельности обитающих в ней или связанных с нею организмов в современных границах Черного моря вообще, и его шельфовой зоны в пределах Украины, в частности, в последние десятилетия все активнее входят в поле интересов геоэкологов. Необходимость решения проблем, вызванных возрастанием антропогенных воздействий на черноморскую водную массу активизировали проведение соответствующих исследований, в т. ч. теоретико-методологических. Целью последних является разработка теории и методологии нового научного направления – морской акваэкологии. В настоящем разделе авторы не останавливаются на раскрытии всех аспектов этого нового научного направления, т. к. планируют посвятить этому специальную книгу. Отметим лишь, что главным объектом морской акваэкологии является МАКЭС. Естественно, что приоритетное внимание украинских геоэкологов направлено на МАКЭС Черного моря и, в первую очередь, МАКЭС черноморского шельфа Украины.

Представляется, что главное значение понятия МАКЭС для теории и методологии науки состоит в том, что оно подчеркивает обязательное наличие взаимоотношений, взаимозависимостей, причинно-следственных, информационных, генетических и других связей, т. е. объединения компонентов, слагающих морские водные массы в функциональное целое. Отсюда следует, что поскольку части в операциональном смысле неотделимы от целого, водные массы морей и океанов, в т. ч. формирующиеся и функционирующие в акватории Черного моря в границах шельфа Украины, представляют собой уровень организации материи, вполне подходящий для применения методов системного анализа.

Учитывая, что структура и свойства МАКЭС, динамика происходящих в ней процессов во многом определяют особенности компонентного состава и свойств смежной МГЭС, остановимся на их кратком описании.

Циклические процессы МАКЭС черноморского шельфа Украины как факторы формирования и функционирования МГЭС. Гидрологические, гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические процессы, которые происходят в МАКЭС и объединяются под общим названием циклических, формируются под действием сезонных изменений климатического и синоптического масштаба.

Гидрофизические процессы, определяющие соответствующие условия, влияют на энергетику компонентов МАКЭС в целом и активность факторов мобилизации, миграции и седиментации веществ, процессы латеральной трансформации гидрохимической структуры водной среды МАКЭС, вертикальное распределение ее гидролого-гидрохимических показателей, транспорт вещества и энергии как в пространстве МАКЭС, так и за ее пределы.

Течения. Для компонентов МАКЭС шельфовой зоны ведущим механизмом миграции является перенос системой течений, формирующейся и функционирующей в ее водной среде. Течения, как один из факторов седиментогенеза, а следовательно и формирования МГЭС, определяют скорость и направление транспортировки, а также осаждения терригенных, взвешенных и растворенных веществ – будущих компонентов различных подсистем МГЭС по площади ее границы с МАКЭС. Циркуляция водной среды в МАКЭС украинского сектора шельфа Черного моря формируется под влиянием двух основных факторов [69]: ОЧТ (основного черноморского течения), которое наблюдается в МАКЭС шельфа при динамической нестабильности потока на свале глубин и ветровых течений, обусловленных небольшими глубинами шельфа. Влиятельным фактором циркуляции является также поток распресненных водных масс, образуемый внедрением в МАКЭС СЗ области шельфа Украины аквальных экосистем четырех наиболее крупных рек из впадающих в Черное море.

Основная струя ОЧТ расположена, как правило, на границе шельфа и континентального склона. Фронтальная зона ОЧТ отделяет мелководную шельфовую прибрежную часть МАКЭС от ее глубоководной части, образуя своеобразный геохимический барьер. Таким образом, в районе шельфа складывается гидродинамическая ситуация, определяемая, в основном, ветровыми течениями.

По данным многолетних исследований [68, 69] из общих закономерностей динамики водной среды МАКЭС можно отметить следующие сезонные периоды: ноябрь – февраль, в МАКЭС СЗ области шельфа Черного моря наблюдается циклонический круговорот потоков, образуемый, главным образом, благодаря струе ОЧТ, которая заходит в восточную часть этой области; март – май, уменьшение влияния на МАКЭС СЗ шельфа ОЧТ, которое направлено вдоль края шельфа. Однако в МАКЭС СЗ шельфа сохраняется циклонический круговорот водной среды; июнь – ОЧТ не затрагивает МАКЭС СЗ шельфа, его оттесняют антициклонические круговороты водной среды; июль – август – течения в водной среде МАКЭС черноморского шельфа Украины от ее подсистемы, расположенной в СЗ области шельфа, направляются на юг и юго-восток. Они приб-

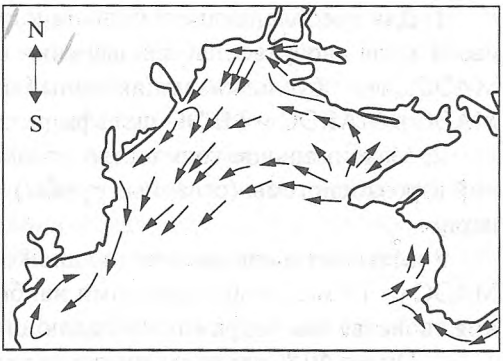


РИС.2.4.1. Обобщенная схема направления движения водной среды МАКЭС СЗ шельфа

лижаются к берегам Крыма, определяют какое-то время циркуляцию водной среды МАКЭС крымского шельфа, а затем поворачивают на юг и запад, поддерживая антициклонический круговорот, действующий в МАКЭС к юго-западу от Крыма; сентябрь – октябрь – в водной среде МАКЭС СЗ области Черного моря прослеживается циклонический круговорот водной среды, который, выходя из МАКЭС данной области, двигается меридионально к югу в пространстве МАКЭС западного шельфа Черного моря.

Ветровые течения в водной среде МАКЭС формируются на стадии устоявшихся потоков, т. е. минимальная продолжительность движения воздушной среды соответствующей МАЭС в одном направлении для образования квазистационарных потоков должна достигать 15–20 ч. Пространственная структура потоков в МАКЭС определяется направлением воздушных потоков в МАЭС и не зависит от их скорости [69]. На рис. 2.4.1 показана обобщенная схема течений поверхностных слоев водной среды МАКЭС СЗ шельфа [69].

При СЗ перемещениях воздушной среды МАЭС Черного моря возникают два круговорота в водной среде МАКЭС СЗ шельфа – антициклонический – в западной части и циклонический – в восточной (Каркинитский залив). При северо-восточных и восточных перемещениях воздушной среды МАЭС формируется один общий циклонический круговорот в водной среде МАКЭС СЗ шельфа. В результате юго-восточного перемещения воздушной среды МАЭС в водной среде МАКЭС формируются три круговорота – западный антициклонический, центральный циклонический и циклонический в МАКЭС Каркинитского залива. При южных и северо-западных перемещениях воздушной среды МАЭС в водной среде МАКЭС СЗ шельфа возникают западный циклонический круговорот и восточный антициклонический (Каркинитский залив). Юго-западные перемещения воздушной среды формируют в водной среде всего пространства МАКЭС СЗ шельфа один круговорот – антициклонический, в отличие от случая, когда имеют место северо-восточные перемещения воздушной среды МАЭС. При западных перемещениях воздушной среды МАЭС, в водной среде МАКЭС СЗ шельфа образуются два антициклонические круговорота. Большой круговорот захватывает западную и центральную части МАКЭС шельфа, другой, значительно меньший по размерам – МАКЭС акватории Каркинитского залива.

Необходимо выделить некоторые особенности воздушной и водной сред соответствующих МАЭС и МАКЭС, влияющих на распространение загрязнителей.

1. Для преобладающего большинства потоков воздушной среды МАЭС СЗ части моря свойственны направления из континентальной аэроэкосистемы в МАЭС, что обусловливает активный перенос терригенного вещества через МАЭС в МАКЭС и МГЭС шельфа.

2. Максимальное количество потоков воздушной среды из континентальной аэроэкосистемы (северные румбы) в МАЭС приходится на осенне-зимний период.

3. Максимальное количество дней с сильными потоками воздушной среды МАЭС (> 15 м/с) и обладающими наиболее высокими скоростями передвижения свойственны ветрам преобладающих направлений.

4. Около 40 % жидкого компонента мигрирует из МАЭС в МАКЭС зимой; менее всего – весной и в начале лета (15 %).

5. Максимальный вынос вещества из речных акваэкосистем свойственен для весеннего периода – до 60 % общегодового его поступления в МАКЭС.

Таким образом, с учетом влияния потоков водной среды квазистационарных направлений, можно сделать обобщение о некоторых закономерностях поступления вещества в МАКЭС шельфа. Если поступление терригенного вещества в восточную часть МАКЭС СЗ шельфа (по 32^0 з. д.) обусловлено, главным образом, привносом воздушными потоками из МАЭС и абразией берегов, то в западную часть описываемой МАКЭС, поступают огромные массы веществ, выносимые потоками водных масс из речных акваэкосистем. Осенне-зимний период для МАКЭС СЗ шельфа характеризуется максимальной интенсивностью привнесения терригенного вещества в виде аэрозолей воздушными потоками из МАЭС (максимальное количество воздушных потоков со значительными скоростями из континентальных аэроэкосистем, максимальные количества потоков жидкого компонента из МАЭС в МАКЭС). Этот факт, как и интенсивные гидродинамические процессы в МАКЭС Черного моря вообще, и СЗ шельфа, в частности, (ветровые течения, вторжение водной среды черноморской МАЭС, транспортируемой ОЧТ) формируют сложную седиментационную ситуацию и относительно равномерное распределение веществ, формирующих компонентный состав МГЭС. Весенне-летнему периоду свойственны максимальное поступление веществ с водной средой речных акваэкосистем в западную часть МАКЭС СЗ шельфа в период весеннего паводка, минимальное влияние той части водной среды черноморской МАКЭС, которая переносится ОЧТ, дифференцированное влияние потоков воздушной среды МАЭС на различные участки МАКЭС шельфа. Эти факторы приводят к перераспределению терригенного вещества в МАКЭС и вхождение его в МГЭС на определенных участках границы «МАКЭС–МГЭС».

В районе придунайского взморья существуют два основных направления переноса водных масс МАКЭС [69, 70]: к югу и к северо-востоку от дельты Дуная. Указанные направления определяются характером взаимодействия воздушных сред континентальной аэроэкосистемы и МАЭС, влияющим на осо-

бенности циркуляции (направление, период действия и силу ветра), развитой в разные сезоны года. При направлении потоков воздушной среды восточных, северо-восточных и южных румбов формируется циклонический тип циркуляции масс водной среды МАКЭС, при котором осуществляется вдольбереговой перенос водной среды МАКЭС и веществ в южном направлении. При потоках воздушной среды МАЭС северного, западного, юго-восточного и юго-западного направлений преобладает антициклоническая циркуляция водной среды МАКЭС, при которой системой течений водные массы перемещаются к северо-востоку и востоку от дельты Дуная.

Типизацией синоптических ситуаций установлена средняя многолетняя повторяемость потоков воздушной среды по направлениям, составляющая, в %: северному – 17,6; северо-восточному – 13,2; восточному – 13,1; юго-восточному – 6,2; южному – 14,0; юго-западному – 11,1; западному – 11,6; северо-западному – 9,9; штиль – 3,3. Как видно, повторяемость воздушных потоков, генерирующих движение масс водной среды МАКЭС в южных румбах – 50,2 % и в северных румбах – 46,5 % практически одинакова. Следует учитывать, что основная масса водной среды из речных акваэкосистем поступает в МАКЭС шельфа в период весеннего половодья, когда преобладают юго-западные ветры, приводящие к вдольбереговому переносу водной среды МАКЭС в северо-восточном направлении со скоростью 15–20 см/с. Потоки водной среды с границы «МАКЭС – МАЭС» под действием потоков воздушной среды МАЭС проникают в пространство МАКЭС до горизонта 8–12 м. Глубже возможны развороты векторов водных потоков за счет увеличения градиентов плотности.

В связи с относительно небольшой мощностью МАКЭС в области СЗ шельфа, главным фактором, определяющим циркуляцию ее водной среды, являются дрейфовые течения. Кроме действия потоков воздушной среды МАЭС, на динамику водной среды МАКЭС, как уже отмечалось, определенное влияние оказывает поток водной среды МАКЭС, поставляемый ОЧТ и водный поток, из аквальной экосистемы Дуная. При наиболее часто повторяемых северо-восточных и восточных ветрах ответвление ОЧТ заходит в МАКЭС СЗ шельфа, при этом в районе о. Змеиный наблюдаются юго-западные потоки, направление которых практически параллельно берегу. При воздушных потоках юго-западного и западного направлений влияние водных потоков из МАКЭС глубоководной части Черного моря намного слабее. При отсутствии воздушных потоков или их слабости отмечается слабая циклоническая система потоков водной среды МАКЭС.

Режимные характеристики водных потоков, а также временная изменчивость поля водных потоков в районе МАКЭС придунайского шельфа изучались в районе о. Змеиный, где в сентябре 1997 г. была выставлена АБС с измерителями течений типа МГИ 1308.

На всех горизонтах пространства рассматриваемой МАКЭС отмечаются относительно небольшие, средние скорости движения водных потоков, состав-

ляющие 9–13 см/с (табл. 2.4.1) [69]. В направлении к границе «МАКЭС – МГЭС» скорость водных потоков изменяется сравнительно мало. Одновременно обращает на себя внимание значительная разница между максимальными измеренными скоростями потоков водной среды МАКЭС и минимальными. Так, максимальная измеренная скорость потока на горизонте 5 м составила 47 см/с, на горизонте 30 м – 28,9 см/с. Минимальная же скорость на всех горизонтах лежит на пороге чувствительности измеряющего прибора, т. е. практически равна нулю. Такое распределение, безусловно, свидетельствует о дрейфовом характере водных потоков. Существенная разница между максимальными значениями скоростей водных потоков на близких горизонтах 5 и 10 м – 47 и 34,5 см/с соответственно, что подтверждается значительными расхождениями в дисперсии. В целом дисперсия на верхнем горизонте МАКЭС больше, чем на нижнем в 2,5 раза.

Данные изучения на автономных буйковых станциях скоростей и направлений движения водных масс МАКЭС в СЗ области шельфа Черного моря по 8 румбам для среднечасовых значений на горизонтах, в м: 5, 10, 20 и 30 показали, что в большинстве случаев (от 30 до 50 %) наблюдаются потоки со скоростями 10–19 см/с и только на глубине 30 м доля потоков со скоростями, лежащими в диапазоне 5–9 см/с несколько выше. Отсутствие потоков в водной среде МАКЭС – факт сравнительно редкий (не более 5 % всех случаев), а максимальные

ТАБЛИЦА 2.4.1

Горизонт, м	Средняя скорость движения водных потоков, см/с			Дисперсная
	максимальная	минимальная	средняя	
	Исходная (каждое измерение)			
5	47,0	1,6	13,1	40,8
10	34,5	1,4	13,0	29,0
20	34,4	1,6	11,4	26,9
30	28,9	1,7	9,6	15,6
	Среднечасовая			
5	37,0	0,8	12,9	39,9
10	33,6	0,7	12,9	28,2
20	31,5	1,0	11,1	26,6
30	25,1	0,5	9,5	14,7
	Среднесуточная			
5	16,3	1,2	10,1	20,2
10	18,8	1,3	10,4	16,7
20	15,8	2,5	7,7	12,2
30	12,4	1,1	6,7	7,1

ные скорости (диапазон 30–39 см/с) их фиксируются еще реже, менее 1 %. В целом, характер распределения скоростей движения потоков по градациям близкий к нормальному. Максимальные значения скоростей потоков в поверхностном слое МАКЭС (5 и 10 м) соответствуют юго-западному направлению их движения, а на горизонтах 20 и 30 м – северному. Средние скорости потоков распределены по румбам сравнительно равномерно. В целом, на горизонтах 5 и 10 м преобладает широтная составляющая направления движения с большой долей западной, глубже – меридиональная с большой долей северной.

Уровень моря. Наблюдение за уровнем моря или границы «МАКЭС – МАЭС» – необходимый гидрофизический компонент акваэкологических исследований. Ближайший к о. Змеиный уровневый пост – гидрометеостанция Приморское. Здесь в многолетнем ходе средних уровней с 20-х годов XIX ст. четко замечена тенденция к повышению уровня моря со скоростью в среднем 3 мм/год. Таким образом, можно утверждать, что уровень моря за последние почти 90 лет поднялся примерно на 25–26см. Годовой ход уровня моря имеет хорошо выраженный сезонный характер. Увеличение поступления в МАКЭС водных масс из акваэкосистемы рек в весенний период приводит к сезонному повышению уровня моря.

Отклонения среднемесячных уровней от среднегодовых показывают, что на протяжении пяти месяцев (с марта – апреля по июль – август) наблюдается положительная аномалия уровня моря с возрастанием до мая – июня и последующим падением до июля – августа. Наибольшие величины отклонений приходятся на май – июнь. В августе – сентябре наблюдается переход к негативным отклонениям.

В среднем, за многолетний период среднемесячные максимумы уровня моря приходятся на май – июнь, минимумы на октябрь – ноябрь. На протяжении года уровень моря непериодически колеблется. Эти колебания обусловлены как движением воздушной среды МАЭС СЗ шельфа, так и движением воздушной среды МАЭС всего Черного моря. В Приморском наиболее сильное нагонное действие имеют восточные и северо-восточные перемещения водной среды МАКЭС. Наиболее значительные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдаются в осенне-зимний период (октябрь – февраль). Максимальный нагон у Приморского зафиксирован в январе (88 см от среднемесячного уровня), а максимальный сгон – в сентябре (61 см). Таким образом, размах колебаний сгонно-нагонных уровней составляет около 1,5 м, что для экосистемы Черного моря и экосистем его окружающих является величиной значительной. При штилевой погоде в колебаниях уровня моря хорошо проявляются 12-часовые колебания приливного происхождения, при этом размах их небольшой (до 5–6 см).

Измерения уровня моря проводили и непосредственно возле о. Змеиный. Измеритель с датчиком давления располагали на донной станции. Полученные на протяжении 22 сут данные показывали колебания уровня с периодом 5–7 сут и размахом 10–15 см на фоне более длительного колебания, возможно месячно-

го периода. Эти колебания, очевидно, вызваны изменениями синоптической ситуации. В колебаниях уровня хорошо выражен суточный и полусуточный прилив, при этом энергия полусуточного прилива в два раза больше энергии суточного.

В связи со стойким подъемом уровня моря происходит постоянное перемещение береговой линии в сторону континента, что сопровождается поступлением в МАКЭС и МГЭС шельфа дополнительных масс продуктов разрушения берегов, которые включаются во вдольбереговые водные потоки, формируют соответствующие потоки наносов и идут на образование аккумулятивных форм на границах морских и континентальных, аква- и геоэкосистем. Мощность потоков наносов зависит от режима колебания границы «МАЭС–МАКЭС» (или волн) и объема привнесенного в МАКЭС материала, дифференцированного на наносы волновых и неволновых полей. В районе МАКЭС у Килийского гирла дельты Дуная формируется поток неволновых наносов юго-восточного направления мощностью около 800 тыс. $м^3$/год, сложенный аллювиальными (89,5 %) и абразионными (9,5 %) продуктами. Ответвление этого потока идет на юго-запад или юго-восток к Жебриянской бухте.

Волнение моря. МГЭС шельфа до глубин 25–30 м находится под влиянием волнового поля МАКЭС, удерживающего во взвешенном состоянии различное по составу разнородное вещество и выполняющего его водно-гравитационную сортировку.

В МАЭС СЗ шельфа Черного моря, в т. ч. в районе придунайского шельфа, господствующими потоками воздушной среды МАЭС, генерирующими волновые колебания границы «МАЭС–МАКЭС» в зимний период являются северные и северо-восточные воздушные потоки, повторяемость которых достигает 50 %. Летом преобладают переменные воздушные потоки, с некоторым преобладанием в описываемом районе северной составляющей [71].

Значительные размеры морского бассейна, большие глубины, слабая изрезанность береговой линии способствуют, несмотря на относительно небольшую повторяемость в МАЭС воздушных потоков штормового характера, развитию значительных волновых колебаний границы «МАЭС–МАКЭС», высоты которых, в частности, в северо-западной части могут превышать 11 м. Зимой в западной части моря, примерно раз в 15 лет, могут наблюдаться волновые колебания границы «МАЭС–МАКЭС» высотой более 9 м, а примерно раз в 30 лет – около 12 м [71]. Повторяемость сильного волнения на границе «МАЭС–МАКЭС» в Черном море невелика.

Одним из наиболее характерных свойств волновых колебаний границы «МАЭС – МАКЭС» является их нерегулярность. Анализ натурных данных показывает, что зависимость можно установить только между статистическими характеристиками (а не мгновенными значениями) ветровых потоков и волновых колебаний границы «МАЭС–МАКЭС». Это фактически означает, что процесс указанных колебаний есть относительным, а аппликаты волновой поверхности – случайными функциями координат и времени. Граница «МАЭС –

МАКЭС» в Черном море колеблется, как правило, под действием различных агентов: системы волн воздушных потоков МАЭС, системы волновых движений, генерируемых локальными движениями воздушных потоков соответствующей МАЭС и одной или нескольких систем зыби. При слабых скоростях движения воздушных масс (ветрах) МАЭС величины энергии ветровых волн и зыби могут быть сравнимы, и хотя каждая волновая система описывается законом распределения близким к нормальному, волновое поле в целом ему не соответствует.

Оптические свойства и режим МАКЭС. Прозрачность водной среды является косвенным индикатором экологических условий МАКЭС шельфа. По глубине видимости белого диска $Z_б$ можно судить о мощности фотического слоя, а также о количестве в водной среде МАКЭС взвешенного вещества. Например, в МАКЭС в районе придунайского шельфа величина $Z_б$ в 1997 г. изменялась в пределах 1,5–6 м [72]. Характер тенденций изменений прозрачности водной среды МАКЭС на основании изучения межгодовой изменчивости аномалий величины $Z_б$ относительно климата 1925–1993 гг. в районе придунайского шельфа показал, что характерное значение тренда величины $Z_б$ за период 1925–1993 гг. составляет –5,84 см/год, а соответствующая величина тренда для периода 1982–1993 гг. увеличилась до 10,05 см/год. Величина временного тренда за последние 15 лет достигала –15,79 см/год. Таким образом, несмотря на то, что характер межгодовой изменчивости оптических свойств МАКЭС шельфа имеет сложный спектр, можно утверждать, что на протяжении XX ст. в пределах придунайской части МАКЭС черноморского шельфа Украины имеет место прогрессирующая тенденция к снижению прозрачности ее водной среды. Прозрачность МАКЭС непосредственно связана с объемом взвеси – тонкого минерального и органического материала, поступающего из различных источников в морскую аквальную среду, и играющего исключительно важную роль в функционировании МАКЭС и МГЭС. Можно предположить, что на протяжении указанного времени такая же прогрессирующая тенденция имела и имеет место и в отношении объемов вещества, поступающего в МГЭС. Учитывая стремительный рост на протяжении XX ст. загрязненности водной среды речных акваэкосистем минеральными, органическими и органо-минеральными веществами, ассоциированными с находящейся в водной среде взвесью, увеличилась геохимическая загрязненость как МАЭС и МГЭС в целом, так и образующих их компонентов-подсистем.

Термохалинная структура водной среды МАКЭС и ее динамика. На температурный режим МАЭС черноморского шельфа Украины влияет много факторов, главными из которых являются солнечная радиация (изменения в пределах года), поток жидкого компонента из МАЭС в МАКЭС через их границу в форме атмосферных осадков, давление, поток жидкого компонента из МАКЭС в МАЭС через их границу в форме пара и другие.

Относительная маломощность МАКЭС шельфа обусловливает значительные сезонные колебания температур в объеме пространства ее водной среды.

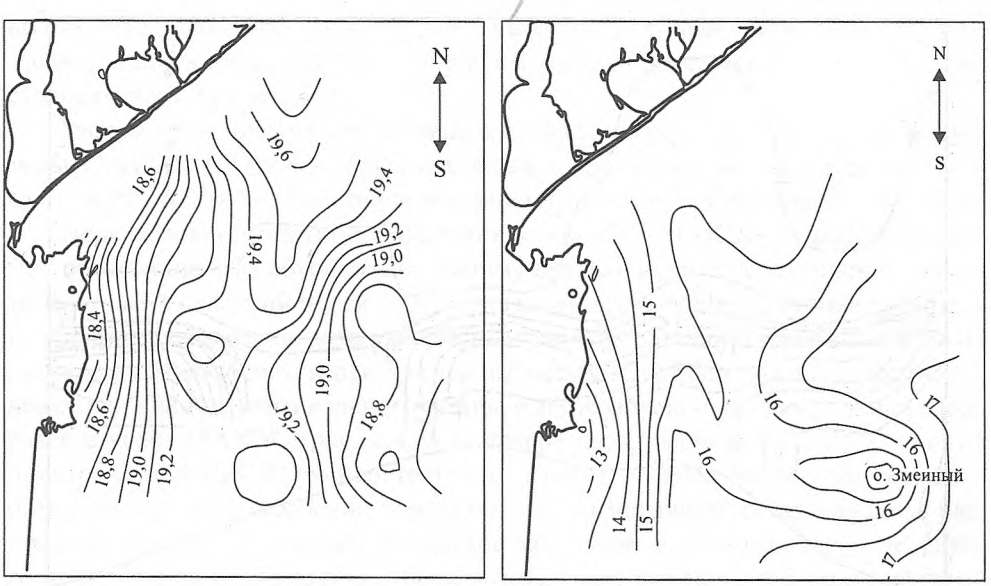
Август – месяц наибольших температур на границе «МАЭС–МАКЭС» (в среднем до 23 ^{0}С). В МАКЭС заливов температура водной среды может достигать 31 ^{0}С. Минимальные температуры наблюдаются в январе – феврале. В среднестатистическую зиму северная часть МАКЭС СЗ шельфа замерзает приблизительно до границы Днестровский лиман–Тендровский залив, на расстоянии от берега 2–5 миль (февраль).

Летняя структура водной среды МАКЭС шельфа описывается преимущественно двухслойной плотностной стратификацией: верхний прогретый и опресненный слой отделяется от пограничного с МГЭС холодного и соленого слоя резким пикноклином (термо-галоклином). Граница раздела слоев залегает обычно на горизонтах 20–25 м в объеме пространства водной среды МАКЭС. Если наибольшая горизонтальная изменчивость температуры наблюдается на этих горизонтах, то по солености максимальные горизонтальные расхождения свойственны верхнему слою МАКЭС, что указывает на влияние источников опреснения (речных и приустьевых акваэкосистем). В зимний период термоклин разрушается и деятельный слой водной среды МАКЭС достигает границы с МГЭС. Процесс сезонного охлаждения сопровождается размыванием термо-клина вследствие усиления вертикального перемешивания водной среды в пространстве МАКЭС. Сильная горизонтальная изменчивость температуры на горизонтах 5–20 м может указывать на присутствие фронтальных зон, связанных с влиянием адвективных процессов. Переход от гидрологического лета к гидрологической осени и зиме в МАКЭС СЗ шельфа Черного моря происходит достаточно быстро, когда перестраивается вертикальная структура МАКЭС под влиянием охлаждения со стороны границы «МАЭС–МАКЭС» и усиления турбулентного перемешивания водной среды МАКЭС под действием воздушных потоков.

Распределение солености в объеме пространства МАКЭС имеет значительные колебания во времени как по площади, так и по глубине. Из главных факторов, обусловливающих распределение солей, можно выделить водные потоки из речных акваэкосистем, воздушные потоки в МАЭС и водные потоки в МАКЭС.

В зимний период, благодаря колебаниям границы «МАЭС–МАКЭС» штормового характера и деятельности воздушных потоков МАЭС, поле солености практически однородно и составляет 17,0–18,6 ‰. Весной МАКЭС подвергается значительному влиянию паводковых водных потоков из речных акваэкосистем, особенно на предустьевых участках, где опреснение достигает глубин 20–25 м. Середина лета характеризуется минимальной соленостью водной среды МАКЭС шельфа. Осенью, при минимальном вкладе речных водных потоков и поставляемых ими веществ, а также активной деятельности воздушных потоков МАЭС, соленость начинает расти [73].

В пределах придунайского района шельфа гидрологический режим водной среды МАКЭС определяется географическим положением системы, ее маломощностью, влиянием водного потока из дунайской акваэкосистемы, водообменом с МАКЭС открытого моря, сгонно-нагонными явлениями, особенностя-

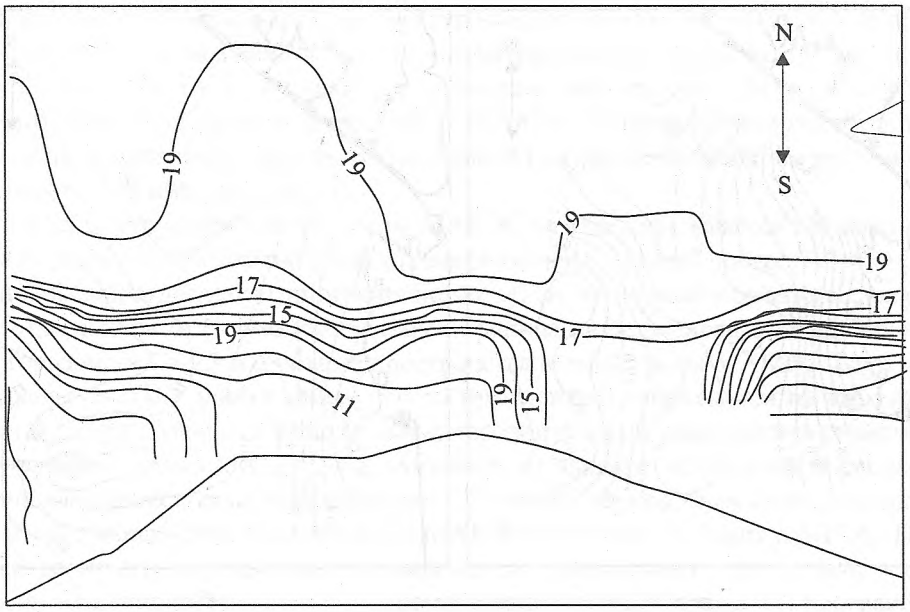


а *б*

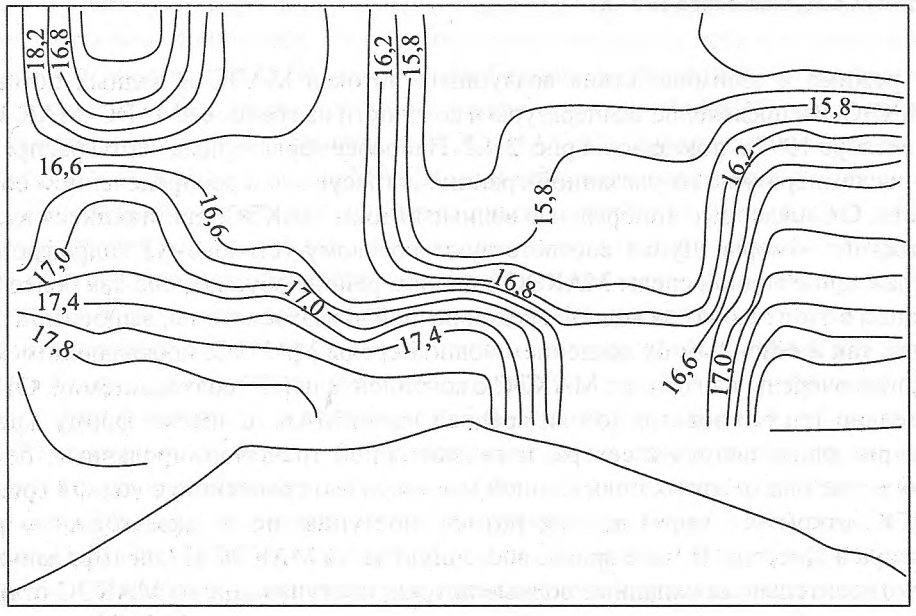
РИС. 2.4.2. Распределение температуры, °С (*а*) и солености, ‰ (*б*) в слое МАКЭС на границе с МАЭС в сентябре 1997 г.

ми режима и взаимодействия воздушных потоков МАЭС и водных потоков МАКЭС. Распределение температуры и солености на границе «МАЭС–МАКЭС» в сентябре 1997 г. показано на рис. 2.4.2. Наиболее характерные черты распределения температуры на указанной границе согласуются с распределением солености. Охлажденные прибрежные водные потоки МАКЭС, двигающиеся вдоль устьевого взморья Дуная соответствуют солевому (стоковому) гидрофронту. Охлаждение водной среды МАКЭС в данном районе обусловлено как более холодной в этот сезон года водной средой речной акваэкосистемы, выносимой Дунаем, так и сезонным охлаждением водной среды МАКЭС, проявляющимся, в первую очередь, на границе МАКЭС с континентальной геоэкосистемой. Относительно теплые водные потоки средней части МАКЭС имеют форму языка, распространяющегося с севера, и являют собой трансформированные, более прогретые благодаря их повышенной мутности (по сравнению с водной средой МГЭС открытого моря) водные потоки, поступившие из акваэкосистем рек Днепра и Днестра. В тоже время, восточную часть МАКЭС СЗ шельфа занимают относительно прохладные водные потоки, поступающие из МАКЭС открытого моря, формирующиеся на ее границе с соответствующей МАЭС.

Граница между водной средой МАКЭС и трансформированной водной средой речных акваэкосистем (фронт полной трансформации) обычно ассоциируется с изохалинами 16–17 ‰. Структура этой границы хорошо видна на карте солености водной массы на границе «МАКЭС–МГЭС» в виде S-образ-



а



б

РИС. 2.4.3. Вертикальное распределение температуры, ^{0}C *(а)* и солености, ‰ *(б)* на меридиональном разрезе пространства МАКЭС в придунайском районе СЗ области черноморского шельфа Украины вдоль $30^0 10'$ в.д. в сентябре 1997 г.

но искривленных изохалин с центром в районе о. Змеиный. Такая структура указывает на циклонический характер распресненная линза водной среды, распространяющаяся на восток.

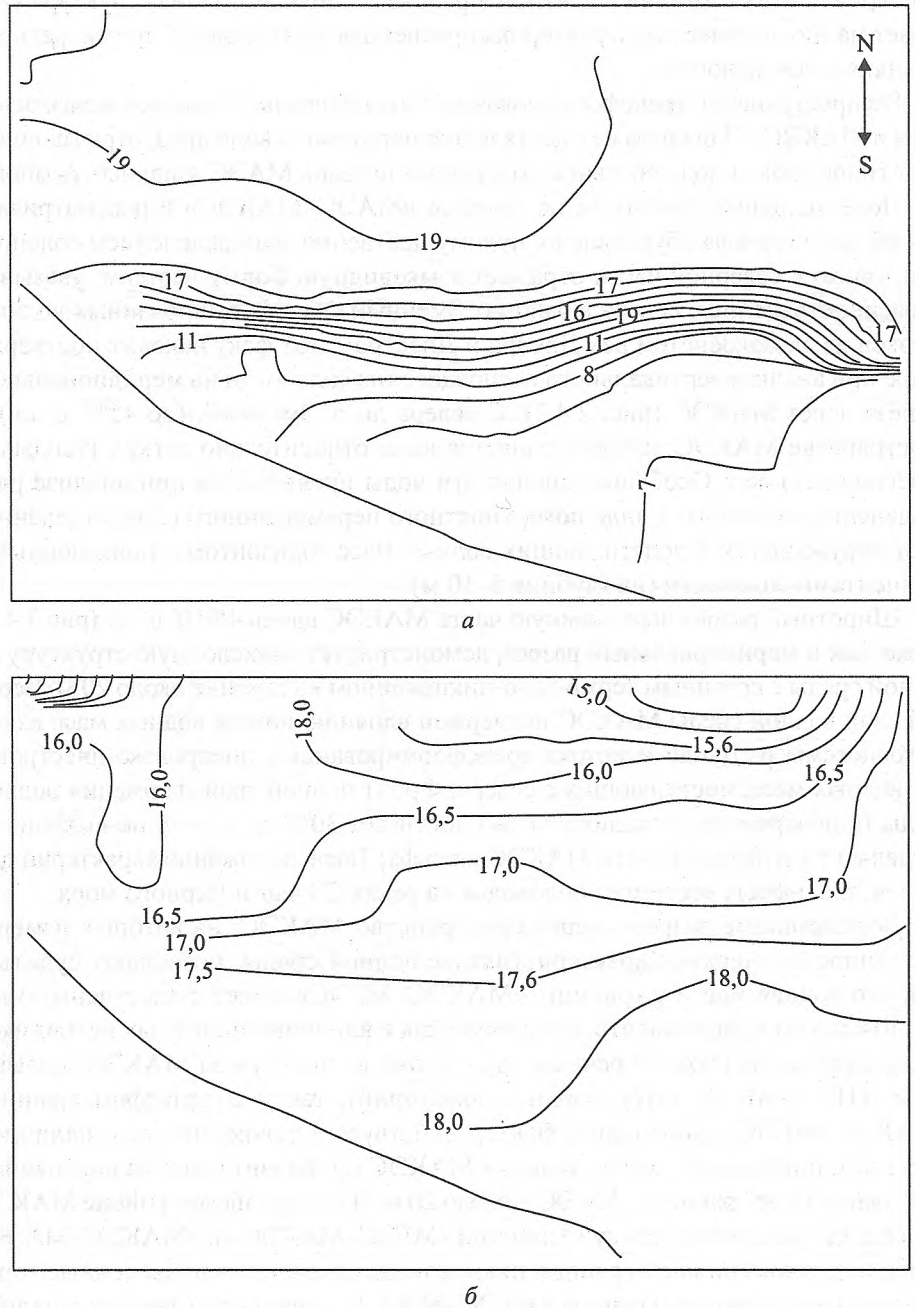
Распространение трансформированной водной среды дунайской акваэкосистемы в МАКЭС СЗ шельфа осуществляется порциями в виде линз, отрывающихся от гидрофронта под действием воздушных потоков МАЭС западных румбов.

Поле условной плотности на границе «МАЭС–МАКЭС» в рассматриваемой области шельфа обусловлено, преимущественно, распределением солености и только в северной части отражает языковидную форму изотерм, указывая на распространение с севера в район о. Змеиный трансформированных водных потоков из акваэкосистем рек Днепра и Днестра. Этот факт находит подтверждение при анализе вертикального распределения солености на меридиональном разрезе через МАКЭС (рис. 2.4.3). С севера до о. Змеиный, (до $45^0 4'$ с. ш.) в пространстве МАКЭС распространяется язык относительно легких (теплых и опресненных) вод. Особенно хорошо эти воды проявляются при анализе распределения солености в виде поверхностного перемешанного слоя, отделенного от окружающих и подстилающих водных масс горизонтом с повышенными градиентами солености (на глубине 5–10 м).

Широтный разрез через южную часть МАКЭС вдоль $45^0 10'$ с. ш. (рис.2.4.4) также, как и меридиональный разрез, демонстрирует двухслойную структуру ее водной среды с сезонным термо-гало-пикноклином на глубине около 20 м. Верхний слой водной среды МАКЭС подвержен влиянию потока водных масс из акваэкосистемы р. Дунай и потока трансформированных днепровско-днестровских водных масс, поступающих с севера. Фронт полной трансформации водной среды (с центром на изохалине 17 ‰) достигает $30^0 5'$ в. д., т. е. не выходит за пределы придунайской части МАКЭС шельфа. Такое положение характерно для апреля, т. е. начала весеннего половодья на реках СЗ части Черного моря.

Вертикальные разрезы через пространство МАКЭС, на которых измерялись гидрологические характеристики ее водной среды, позволяют судить о том, что водная масса у границы «МАКЭС–МГЭС» имеет существенную горизонтальную изменчивость, связанную как с влиянием основных источников ее формирования (потоки речных вод, потоки водной среды МАКЭС шельфа, воды ХПС МАКЭС глубоководной акватории), так и с рельефом границы «МАКЭС–МГЭС». Последний фактор действует в совокупности с наличием сезонного пикноклина, залегающего в МАКЭС приблизительно на постоянном расстоянии от ее границы с МАЭС – около 20 м. В придунайском районе МАКЭС шельфа, где расстояние между границами «МГЭС–МАКЭС» и «МАКЭС–МАЭС» менее или равно нижней границе пикноклина, отмечаются повышенные горизонтальные градиенты (граница «МГЭС–МАКЭС» сечет слой термо-галоклина в водной среде МАКЭС).

В глубоководных участках горизонтальные градиенты меньше и связаны с влиянием холодных соленых вод, поступающих с юго-востока. Слой водной



а

б

РИС.2.4.4. Распределение температуры, ^{0}С *(а)* и солености, ‰ *(б)* на широтном разрезе пространства МАКЭС в придунайском районе СЗ области черноморского шельфа Украины вдоль 45^{0}10′ с.ш. в сентябре 1997 г.

среды у границы «МГЭС–МАКЭС» вблизи о. Змеиный находится в зоне взаимодействия (контакта) водной среды МАКЭС шельфа и МАКЭС глубоководного района Черного моря.

Приведенные результаты гидрологических исследований отображают крайне изменчивый характер пространственной структуры и динамики водной среды МАКЭС придунайского шельфа.

В период экспедиционных исследований 1997–1998 гг. удалось наблюдать уникальную комбинацию внешних факторов, влияющих на структуру и динамику водной среды МАКЭС в районе о. Змеиный. С одной стороны, экстремально высокий для начала осени объем поступления вод из речных акваэкосистем после обильных летних дождей создает условия, характерные для весны – начала лета, формируя вертикальную стратификацию водной среды МАКЭС и стоковые фронты в МАКЭС придунайского шельфа. С другой стороны, начавшееся сезонное охлаждение водной среды МАКЭС стремится разрушить вертикальную стратификацию и способствует горизонтальной однородности водной массы. Несмотря на это, даже в октябре в МАКЭС сохранялась стратификация, близкая к летней (при общем фоновом снижении температуры водной среды у границы «МАЭС–МАКЭС»). Трансформированная водная среда речных акваэкосистем переместилась на восток к границам, характерным для начала лета (после высокого весеннего объема поступления речных вод). При потоке воздушной среды МАЭС северных румбов в середине сентября 1997 г. фронтальная зона вод МАКЭС придунайского района оказалась прижатой к берегу, а на водную среду МАКЭС в районе о. Змеиный влияли опресненная водами из акваэкосистем рек Днепра и Днестра водная среда МАКЭС северной части шельфа. В начале октября 1998 г. юго-западные воздушные потоки изменили ситуацию, вызвав продвижение водной среды дунайской акваэкосистемы на восток, а в прибрежных районах МАКЭС шельфа развился сгонный процесс и апвеллинг холодных вод нижнего слоя МАКЭС шельфа. Соленость водной среды в районе апвеллинга снижалась за счет перемешивания с потоками пресных вод речных экосистем. Это обеспечило плавучесть холодных струй, вытянутых на восток и предотвратило их конвективное перемешивание с теплыми водами у границы «МАЭС – МАКЭС» над сезонным пикноклином. Две зарегистрированные ситуации являются типичными, с точки зрения динамики водной среды МАКЭС данного района [69].

Вертикальное распределение свойств водной среды МАКЭС в осенне-зимний сезон становится однородным или квазиоднородным под влиянием выхолаживания со стороны границы «МАЭС–МАКЭС» и усиления ветрового турбулентного перемешивания. Однослойная структура водной среды МАКЭС нарушается в ее приустьевых зонах под влиянием пресных и холодных вод речных акваэкосистем. Несмотря на более низкую температуру, плотность этих вод ниже соленой водной среды МАКЭС шельфа, поэтому в зоне стокового фронта в ней образовался распресненный холодный слой (а не теплый, как летом и осенью).

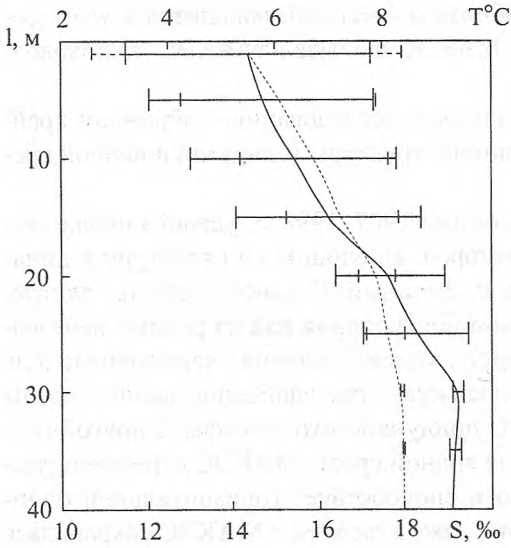
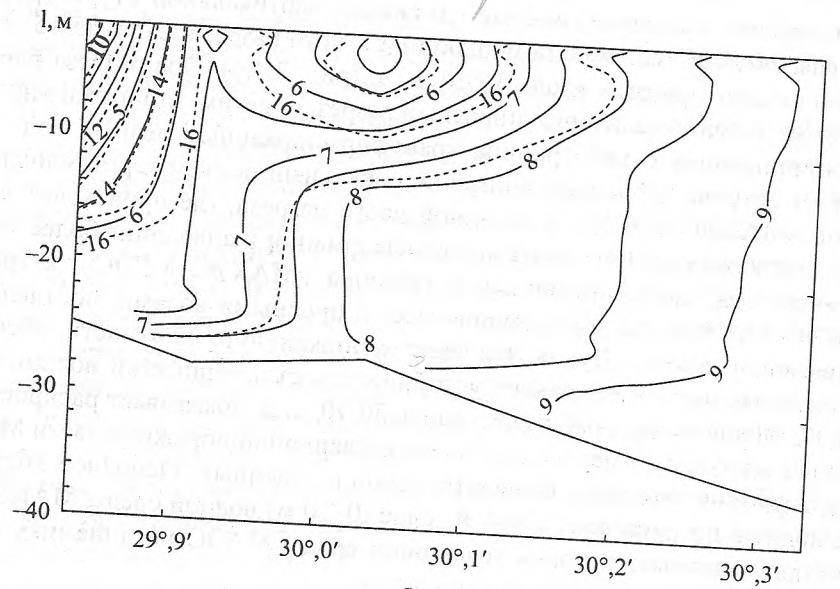


РИС.2.4.5. Средние вертикальные распределения температуры T(–) и солености S(---) в пространстве МАКЭС в придунайском районе СЗ области черноморского шельфа Украины 3–6 декабря 1998 г.; горизонтальные отрезки – СКО.

Средние характеристики вертикальной структуры водной среды МАКЭС шельфа показаны на рис. 2.4.5. Оценки горизонтальной изменчивости показаны в виде планок среднеквадратичных отклонений (СКО) температуры и солености от средних значений. Средние распределения температуры и солености имеют вид монотонного возрастания параметров с удалением от границы «МАЭС–МАКЭС», что выражается также видом средней TS-кривой. Слой водной среды у границы «МАКЭС–МГЭС» на глубинах (l) более 30 м имеет температуру несколько выше 9^{0}C и соленость около 18 ‰. В слое у границы «МАЭС–МАКЭС» под влиянием холодных пресных потоков вод из речных акваэкосистем средняя температура 5,5^{0}C, а соленость 14,35 ‰. Если осенью наибольшая горизонтальная изменчивость температуры наблюдается в слое термо-галоклина (~ 20 м), то зимой максимумы СКО по обоим параметрам отмечаются в слое у границы «МАКЭС–МАЭС», постепенно уменьшаясь в направлении границы «МАКЭС–МГЭС». Таким образом, влияние источника распреснения и охлаждения водной среды МАКЭС шельфа (водная среда акваэкосистемы Дуная) проявляется в горизонтальной адвекции и поддержке горизонтальных градиентов плавучести соответствующего слоя водной среды. Эти факты подтверждаются анализом горизонтальных распределений гидрологических характеристик водной среды МАКЭС.

Основной особенностью распределения температуры и солености слоя водной среды МАКЭС у ее границы с МАЭС является наличие фронтальной зоны, отделяющей распресненные охлажденные воды первой и второй зон трансформации (S < 14 ‰, T < 50) от более соленых и теплых вод зоны полной трансформации. При этом фронт полной трансформации водной среды, выделяемый обычно по изохалине 17 ‰ размыт в поле солености, но выделяется по температуре (изотерма 8^{0}C), располагаясь параллельно берегу западнее о. Змеиный.

Слой водной среды МАКЭС у ее границы с МГЭС характеризуется постепенным повышением температуры и солености в направлении с северо-запада на юго-восток, соответственно характеру наклона этой границы в районе исследований (рис. 2.4.6).



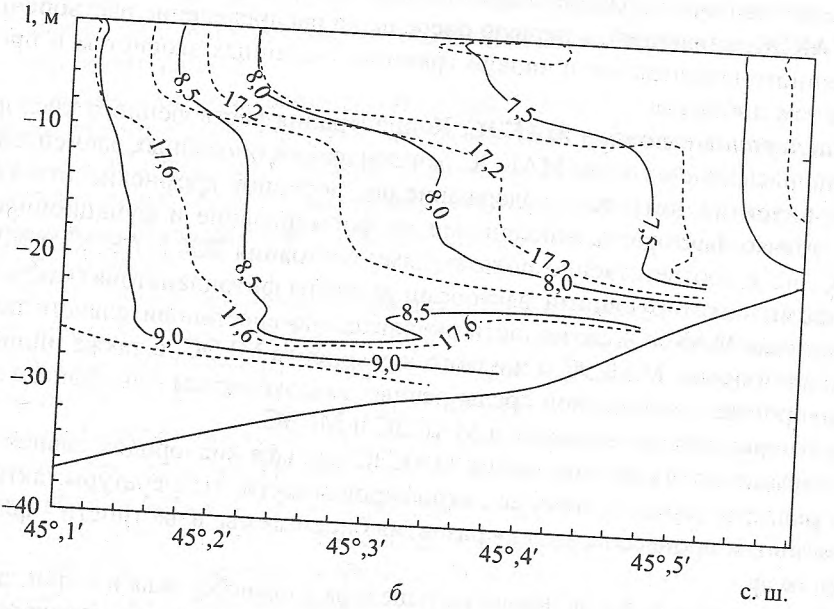


РИС. 2.4.6. Вертикальное распределение температуры (—), °С и солености (---), ‰ по данным измерений 3–6 декабря 1998 г. на широтном разрезе по 45°15′ с.ш. (*а*) и меридиональном разрезе вдоль 30°10′ в.д. (*б*) в пространстве МАКЭС в районе о. Змеиный в СЗ области черноморского шельфа Украины

Проследить пространственные изменения вертикальной структуры водной среды МАКЭС можно с помощью широтного разреза вдоль $45^0 15'$ с.ш. и меридионального разреза вдоль $30^0 10'$ в. д. (рис. 2.4.6). Оба разреза ближайшие к о. Змеиный. Анализируя широтный разрез, отметим, что изохалина 17 ‰ и ассоциированная с ней граница трансформированных речных вод почти достигает острова. Обращает внимание локальный подъем термогалоклина к границе «МАКЭС–МАЭС» в западной части разреза, где происходит дивергенция вод между двумя фронтами трансформации и апвеллинг более теплых и соленых вод, сформированных у границы «МАКЭС–МГЭС», к границе «МАКЭС–МАЭС», где они смешиваются с пресными водами, поставляемыми акваэкосистемой р. Дуная, что ведет к снижению их плотности, обеспечивает их плавучесть и сохраняет устойчивость стратификации водной среды МАКЭС. Меридиональный разрез вдоль $30^0 10'$ с. д. показывает распространение более холодных и менее соленых вод северной прибрежной части МАКЭС СЗ шельфа (вне стокового фронта) в район о. Змеиный. Основное вторжение происходит в пограничном с МАЭС слое (0–10 м) водной среды МАКЭС, ниже которого влияние потоков воздушной среды МАЭС на динамику водной среды МАКЭС практически не ощущается.

Таким образом, процессы формирования МГЭС придунайского шельфа протекают на фоне сложной гидрологической структуры водной среды смежной МАКЭС, влияющей, в первую очередь, на распределение растворенного и взвешенного вещества по площади границы указанных экосистем и происходящие там процессы.

Кислородный режим МАКЭС. Концентрация растворенного кислорода и уровень насыщенности им МАКЭС, концентрации биогенных элементов (фосфатов, нитритов, нитратов), содержание растворенной кремнекислоты являются не только факторами, влияющими на формирование и функционирование МГЭС, но и соответственно показателями состояния ЖК МАКЭС и МГЭС, в частности, лимитирующими факторами развития фитопланктона (как элемента биосистемы МАКЭС), активности окислительно-восстановительного потенциала водной среды МАКЭС и жидкого компонента МГЭС, а также индикаторами распространения водной среды речных акваэкосистем – основного поставщика гетерогенного материала в МАКЭС и МГЭС.

Насыщенность водной среды МАКЭС шельфа кислородом зависит от целого ряда факторов: уровня ее эвтрофированности, температуры, активности адвективных процессов, уровня развития биосистемы, в частности – фитопланктона, и др.

Водная среда МАКЭС Крымского шельфа у южнобережья и в прикерченском районе на протяжении всего года характеризуется нормальным кислородным режимом (уровень насыщения 80–105 %). Водная среда МАКЭС СЗ шельфа в летне-осенний период характеризуется неблагоприятным кислородным режимом. Явление гипоксии, или дефицита кислорода (насыщение менее 30 %) в слоях воды у границы «МАКЭС–МГЭС» с начала 70-х годов XX ст. стало типичным для

этого района [73, 74, 75]. Гипоксия охватывает все большие объемы пространства МАКЭС и МГЭС, хотя бывают колебания, связанные с увеличением поступления вод из речных акваэкосистем и с развитием синоптических ситуаций. В наиболее неблагоприятные периоды гипоксия развивается на площади около 30–40 тыс. км^2. При этом наиболее неблагоприятный режим отмечается в прибрежной 30–40-мильной зоне МАКЭС северного и западного районов СЗ шельфа.

Отмечаются три области МАКЭС, где наиболее часто фиксируются гипоксийные процессы: Одесская (повторяемость 40 % случаев), Дунайская (повторяемость 40–45 % случаев), а также в междуречьи Днестра и Дуная (повторяемость 80 % случаев). В остальной прибрежной зоне МАКЭС выявляемость гипоксии составляет 5–20 % случаев. Такая же повторяемость гипоксийных явлений характерна для района МАКЭС, лежащего к югу от Тарханкутского полуострова, что обусловлено гидродинамическими особенностями ее водной среды (наличие в ней антициклонических вихреобразований, в которых концентрируются биогенные вещества).

В июне – июле гипоксия отмечается в водной среде узкой прибрежной зоны МАКЭС, существенно расширяясь в мористую часть в августе, где к концу месяца достигает своего максимума. В сентябре за счет аэрации водной среды МГЭС в мелководных прибрежных районах гипоксия сохраняется только на участках МАКЭС западного шельфа, где расстояние от границы «МАЭС– МАКЭС» до границы «МАКЭС–МГЭС» составляет около 20–30 м. В период октябрь – декабрь сохранение гипоксии возможно только в локализованных участках МАКЭС придунайского района.

Практически не развивается гипоксия в МАКЭС в районе мелководного Каркинитского залива, где даже незначительное усиление потоков воздушной среды МАЭС приводит к аэрации всей водной среды МАКЭС, а также в юго-восточной части МАКЭС рассматриваемого шельфа, характеризуемой интенсивным водообменом с аэрированной водной средой деятельного слоя МАКЭС открытого моря.

Развитие гипоксии характерно для поздневесеннего, летнего и раннеосеннего периодов, когда при нормальном и даже повышенном содержании кислорода в слое водной среды у границы «МАЭС–МАКЭС», в слое воды у границы «МАКЭС – МГЭС» концентрация кислорода и степень насыщения им вод могут быть резко снижены [74]. Основными причинами, приводящими к возникновению гипоксии, являются: высокая стойкость вертикальной стратификации водной среды МАКЭС в результате весеннего прогрева и поступления пресных вод из речных акваэкосистем в приграничные с МАЭС слои водной среды МАКЭС, ослабления турбулентной диффузии и адвекции ниже термоклина; экстремально высокие концентрации биогенных элементов в приграничных с МАЭС слоях водной среды МАКЭС; весеннее «цветение» фитопланктона, интенсивность которого достигает экстремальных значений, чему способствуют первые две причины; продуцирование взвешенного органического вещества в количествах, превышающих ассимиляционную емкость МАКЭС и МГЭС шельфа,

использование кислорода на окисление органики в количествах, превышающих его поступление из приграничных с МАКЭС слоев воздушной среды МАЭС.

Причины формирования и последствия гипоксии в МАКЭС приведены в табл. 2.4.2.

В результате снижения интенсивности гидродинамических процессов в МАКЭС в летний период, усиления вертикальной стратификации ее водной среды и ослабления гидрометеорологических процессов в МАЭС, в отдельных районах шельфовой МАКЭС наблюдается практически полная потеря кислорода, а вслед за этим – появление сероводорода, в слое водной среды на грани-

ТАБЛИЦА 2.4.2

Внешний фактор	Внутренний фактор	Последствия
Солнечная радиация	Усиление вертикальной устойчивости водной среды МГЭС. Ослабление турбулентной диффузии и адвекции ниже слоя термоклина. Накопление органического вещества на границе (в аквагеоэкотоне) «МАКЭС–МГЭС»	—
Речной сток, вынос биогенов и органического вещества из речных аквальных экосистем в МАКЭС	Увеличение скорости потребления растворенного кислорода в процессе окисления органического вещества ниже термоклина	—
—	Начало формирования дефицита кислорода в аквагеоэкотоне на границе «МАКЭС–МГЭС»	Угнетение жизнедеятельности растительных и животных организмов ЖК, обитающих в аквагеоэкотоне на границе «МАКЭС–МГЭС»
—	Смена окислительных условий на восстановительные, появления сероводорода в аквагеоэкотоне на границе «МАКЭС–МГЭС»	Массовая гибель прикрепленных и малоподвижных организмов ЖК, обитающих в аквагеоэкотоне на границе «МАКЭС–МГЭС»
—	Полная утилизация кислорода и накопление сероводорода в водной среде МАКЭС, в аквагеоэкотоне на границе «МАКЭС–МГЭС» и в МГЭС	Замор
Осенняя конвекция	Транспортировка растворенного кислорода в аквагеоэкотон на границе «МАКЭС–МГЭС» и в МГЭС	Постепенное восстановление жизнедеятельности организмов ЖК, обитающих в аквагеоэкотоне на границе «МАКЭС–МГЭС» и в МГЭС

це «МАКЭС–МГЭС». В водной среде МАКЭС и в пограничном слое МГЭС интенсифицируется процесс сульфатредукции. Не успевающий окисляться сероводород накапливается у границы «МАКЭС–МГЭС», что приводит к практически полной гибели ЖК МГЭС. Погибшие гидробионты сами становятся очагом сульфатредукции, замыкая цепь обратной связи [77, 78]. Толщина слоя водной среды МАКЭС, подверженная сероводородному заражению на глубине моря 12 м может достигать 3–5 м, а на глубине 25–30 м – 10–15 м. В 1983 г. площадь сероводородного заражения МАКЭС в районе междуречья Дунай – Днестр составляла 5,2 тыс. км^2, а запас сероводорода в ее объеме в пределах указанного пространства достигал 15 тыс. т [78].

Районы шельфа, где в МАКЭС и МГЭС развивается гипоксия характеризуются следующими океанографическими условиями: вертикальные градиенты плотности достигают 6 условных единиц, температуры – 15^{0}С, солености – 6 ‰, число Ричардсона (показатель интенсивности вертикального обмена) составляет 10 (критическое для Черного моря). Характерной чертой распределения биогенных элементов является отсутствие нулевых значений в поверхностном слое воды, интенсивное развитие деструкционных процессов: $БПК_5$ – 2–4 мг/л, константа скорости окисления органического вещества в рассматриваемой МАКЭС в 3–5 раз превышает значения этого показателя для водной среды МАКЭС открытой части моря. Концентрация органического вещества в гипоксийных зонах МАКЭС в мае обычно колеблется от 15 до 50 мгС/л, снижаясь в июле в 4–5 раз [76].

Одна из главных причин возникновения гипоксии – аномально высокое и быстрое развитие фитопланктона, являющегося одним из главных элементов ЖК (биоподсистемы) и взвеси, т.е. твердой фазы в структуре МАКЭС шельфа. Подчеркнем, что биомасса фитопланктона за последние 30 лет возросла в 26 раз [77, 78].

Анализ имеющихся данных показал, что в экосистеме СЗ шельфа нарушен механизм регулирования баланса между продуцированием и утилизацией фитопланктона, основным потребителем которого является зоопланктон. В период с 1960 по 1970 гг. уже отмечалась тенденция к снижению биомассы зоопланктона. В дальнейшем произошла вспышка численности средиземноморского вселенца хищного гребневика Mnemiopsis leidii, что привело к еще более значительному сокращению биомассы зоопланктона, особенно фитотрофного. Собственно связь между вспышками развития гребневика и редукцией зоопланктона обусловливала регулярные количественные вспышки фитопланктона, что, в конечном результате, приводило к гипоксиям.

В этом случае эвтрофирование МАКЭС СЗ шельфа веществами, приносимыми водами речных акваэкосистем имеет вторичное значение, поскольку разлагающийся фитопланктон сам является источником питательных веществ. В частности, в сентябре 1997 г. водная среда МАКЭС шельфа, где уже была развита гипоксия, содержала намного больше биогенных элементов, чем водная

среда акваэкосистемы рек Дуная или Днепра, т. е. была более эвтрофированной. В этот период в слое водной среды МАКЭС на ее границе с МГЭС на глубине 12–30 м между дельтой Дуная и о. Змеиный была выявлена обширная зона МАКЭС, подверженная гипоксии (концентрации кислорода <2,7 мл/л) (см. рис. 2.4.6). Протяженность этой зоны с востока на запад достигала 44 км, а с юга на север – 50 км. Общая площадь ее границы со смежной МГЭС составила около 1200 км^2. Внутри отмеченной зоны выделяются три области общей площадью около 400 км^2 с содержанием кислорода <30 % насыщения. Мощность слоя водной среды МАКЭС с режимом гипоксии, на границе с МГЭС составляла на большей части акватории около 1–3 м, притом, что максимум достигал 10 м. Отметим, что наиболее низкие концентрации кислорода – 0,98 мл/л (15 % насыщения) были зафиксированы на глубине около 20 м.

Дрейфовыми потоками слои водной среды МАКЭС у ее границы с МГЭС, характеризующиеся режимом гипоксии, перемещались в юго-восточном направлении. За трое суток (одни из которых были штормовыми) перемещение составило 12 км. В начале октября под действием осенней конвекции концентрации кислорода во всем объеме пространства МАКЭС восстановились до нормального уровня.

Гипоксия, как известно, имеет значительные биологические и геохимические последствия. Биологические последствия – замор и гибель бентосной фауны и флоры, уменьшение биоразнообразия и продуктивности шельфовых зон. С точки зрения геоэкогенеза при гипоксии происходит снижение роли биогенных факторов формирования и функционирования МГЭС и усиление влияния терригенных факторов. Это, в свою очередь, определяет особенности компонентной структуры МГЭС, в частности, ее твердой, жидкой, газовой и живой (или биологической) подсистем. Например, гипоксия влияет на интенсивность образования в МГЭС аутигенных минералов.

Геохимические последствия заключаются, в частности, в смене окислительных условий на восстановительные в пределах зоны гипоксии на границе «МГЭС–МАКЭС». При этом происходит накопление ряда металлов (Cu, Zn, Pb, Mo, и др.) в виде сульфидных твердых фаз, которые при обратной смене восстановительных условий на окислительные окисляются и освобождают металлы. Изменяются формы существования микроэлементов, возрастает активность сорбции на всей совокупности компонентов взвеси, содержащейся в водной среде МАКЭС [74, 75]. Некоторые элементы и соединения в восстановительных условиях наоборот, становятся подвижными, происходит десорбция обменных форм и, как результат – обогащение слоя водной среды МАКЭС на ее границе с МГЭС указанными веществами до концентраций, определяемых динамическим равновесием в системе «МАКЭС–МГЭС». Дрейфовыми потоками растворы переносятся на значительные расстояния. Попадая в окислительные условия, элементы и соединения утрачивают подвижность и становятся элементами структуры МГЭС. Таким образом, на границе

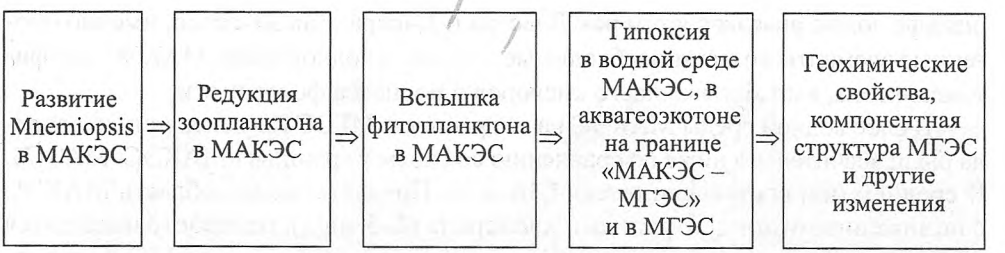


РИС. 2.4.7. Пример основных звеньев цепи последовательных процессов и явлений, приводящих к образованию гипоксии

«МАКЭС–МГЭС» происходит перераспределение абсолютных концентраций металлов, хлорорганических и других соединений, замедляется механизм минерализации и включения органоминеральных токсинов (ХОП, ПХБ, СПАВ, фенолов) в структурную систему МГЭС. Переход загрязняющих веществ из МГЭС в сопряженную МАКЭС усиливает негативный эффект гипоксии на ЖК МГЭС. В целом гипоксия является одной из причин нестационарности геохимических и геоэкологических полей в пространстве МАКЭС и МГЭС.

Явление гипоксии дает наглядный пример взаимосвязи всех компонентов экосистемы шельфа. Так, массовое размножение планктонного организма – вселенца Mnemiopsis, являющегося биозагрязнителем МАКЭС, на первый взгляд не имеет ничего общего с состоянием МГЭС. Однако, через цепь последовательных процессов и явлений этот типично биологический феномен приводит к существенному изменению ее геохимических особенностей и компонентной структуры. Основные звенья этой цепи представлены на рис. 2.4.7.

Ниже приведены основные закономерности кислородного режима водной среды МАКЭС в районе придунайского шельфа – одном из основных ее районов, подверженных развитию гипоксии, что подтверждается данными многих экспедиционных исследований.

Распределение кислорода в водной среде МАКЭС в районе придунайского шельфа по площади приведено в табл. 2.4.3 и показано на рис. 2.4.8 (см. вклейку). По состоянию на сентябрь 1997 г. наблюдалось постепенное повышение концентрации кислорода в водной среде МАКЭС от 6,1 до 7,3 мл/л по мере удаления от устья Дуная, после чего его содержание постепенно снижалось до концентрации 6,2 мл/л на меридиане $30^{0}33'$ в. д. При этом в северо-восточной части изучаемого пространства МАКЭС наблюдался язык обогащенных кислородом вод, обусловленный поступлением богатых биогенными элементами вод из акваэкосистем рек Днестра и Днепра. Возможно, в пространстве исследованной МАКЭС существуют два очага активного продуцирования кислорода, связанных с разными источниками поступления биогенных элементов: с поступлением водной среды из Дунайской акваэкосистемы, и с поступлением смешанной водной массы, образовавшейся при поступлении в МАКЭС СЗ

шельфа вод из акваэкосистем рек Днестра и Днепра. Как известно, именно биогенные элементы создают необходимые условия в водной среде МАКЭС для фитопланктона, вырабатывающего кислород в процессе фотосинтеза.

В слое водной среды МАКЭС на ее границе с МГЭС концентрации кислорода были значительно ниже по сравнению со слоем у границы «МАКЭС–МАЭС». В среднем они составляли около 4,36 мл/л. Прослеживалась область МАКЭС с пониженными концентрациями кислорода (2–3 мл/л), распространяющаяся от устья р. Дуная на восток до $30^{0}1'$ в. д. Далее в водной среде МГЭС содержание кислорода быстро повышалось до 5–6 мл/л, несмотря на увеличение глубины. Возникновение области МАКЭС с пониженными концентрациями кислорода (гипоксийного состояния вод) объясняется комплексом вышеуказанных причин, в первую очередь, поступлением органического вещества со слоев водной среды МАКЭС, расположенных у ее границы с МАЭС, а также потреблением кислорода на деструкцию этого вещества. Если принять во внимание относительное постоянство толщины слоя гипоксийных вод в среде МАКЭС при постепенном увеличении глубины залегания изооксигены 2 мл/л по мере удаления от устья р. Дуная с 12 до 30 м (т.е., в интервале, охватывающем сезонный термоклин), можно допустить, что дефицит кислорода в воде у границы «МАКЭС–МГЭС» вызван, в основном, процессами окисления, протекающими в МГЭС. Иначе (если бы, например, интенсивность потребления кислорода в воде у границы «МАКЭС–МГЭС» зависела от количества оседающего органического вещества), толщина гипоксийного слоя должна была бы постепенно уменьшаться по мере удаления от устья р. Дуная. Можно также допустить, что значительная часть отмершего органического вещества в процессе осаждения не успевает разложиться до конца и достигает границы «МАКЭС–МГЭС». В том случае, если глубина позволяет осаждающемуся органическому веществу разрушиться полностью в водной толще, придонная гипоксия возникнуть не может [78].

В зимний период кислородный режим водной среды МАКЭС благоприятный. На примере декабря 1998 г. можно показать, что благодаря сезонной конвекции и активизации динамики водной среды вообще, во всех изученных пробах, отобранных из МАКЭС в указанное время, содержание кислорода было не меньше 6,6 мл/л, а процент насыщения – не менее 89. В слое водной среды, рас-

ТАБЛИЦА 2.4.3

Слой вод	Концентрация кислорода, мл/л			СКО	Коэффициент вариации	Количество наблюдений
	минимальная	максимальная	средняя			
Поверхность	5,94	8,33	6,52	0,55	9	39
Глубина 20 м	0,98	6,43	5,10	1,47	29	24
Придонный	1,84	7,13	4,36	1,74	40	32

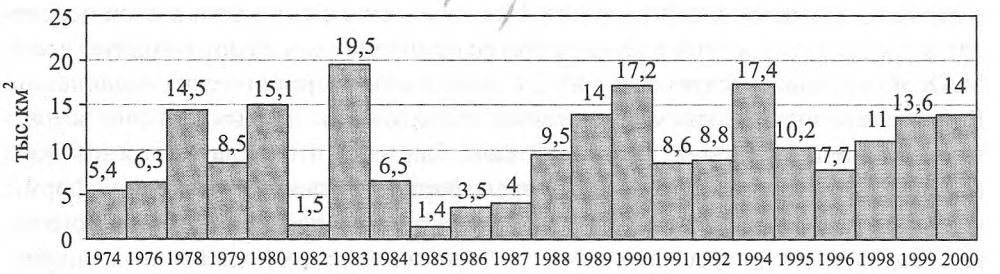


РИС. 2.4.10. Диаграмма распределения площадей гипоксии в слое водной среды МАКЭС СЗ шельфа в период с 1974 по 2000 гг. [76]

положенном у границы «МАКЭС–МАЭС», концентрация кислорода снижалась по мере удаления от устья р. Дуная от 8,4– 8,6 мл/л до 7,2 (водная среда МАКЭС открытой части моря). Аналогичное снижение наблюдалось и в слое воды у границы «МАКЭС–МГЭС», где концентрация кислорода уменьшалась от 8,0 – 8,2 мл/л в приустьевой зоне до 6,8–7,2 мл/л в водной среде мористой части МАКЭС (рис. 2.4.9) (см. вклейку). Такое снижение в обоих случаях объясняется уменьшением растворимости кислорода при возрастании солености и температуры, поскольку практически вся водная среда на всей площади у границы «МАКЭС–МАЭС» равномерно насыщена кислородом на 97–99 %.

С распределением кислорода в водной среде МАКЭС хорошо коррелирует и распределение в ней pH. Как показали проведенные исследования, pH в водной среде МАКЭС изменяется в пределах от 8,40–8,55 у границы «МАКЭС – МАЭС» до 7,8–8,3 у границы «МАКЭС–МГЭС». Высокие концентрации кислорода соответствуют более щелочным водам, а в областях с пониженным содержанием кислорода наблюдаются относительно низкие величины pH.

Межгодовая изменчивость площадей СЗ шельфа, на которых МАКЭС подвергается влиянию гипоксии показа на рис. 2.4.10 [76]. В длиннопериодной изменчивости этой характеристики прослеживается наличие квазипериодических колебаний с цикличностью 3–5 лет.

Живой компонент МАКЭС черноморского шельфа Украины. ЖК МГЭС оказывает значительное влияние на происходящие в ней процессы трансформации вещества и энергии. С одной стороны, он определяет тип осадконакопления, контролируя аккумуляцию карбонатов кальция и органического вещества в МГЭС. С другой стороны, планктонные организмы (как элемент биосистемы взвеси, являющейся подсистемой МАКЭС) и бентосные фильтраторы (как элемент подсистемы ЖК МГЭС) образуют мощный биогеохимический механизм, адсорбирующий и выводящий из МАКЭС в МГЭС растворенные и взвешенные минеральные, органические, органоминеральные соединения. Существует и обратный процесс превращения взвешенной формы элементов в растворенную. Тонкодисперсная взвесь, обогащенная Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Pb и др. потребляется

в МАКЭС клетками фитопланктона. Многочисленные элементы взвеси переходят в протоплазму живой клетки, а при ее отмирании попадают в водную среду МАКЭС и геологическую среду МГЭС в виде металлорганических соединений. В результате значительно увеличивается подвижность элементов за счет возрастания их доли в растворе. Таким образом, благодаря гидробионтам в МГЭС и МАКЭС происходит геохимическая трансформация элементов из одной формы в другую. Действуя на элементы селективно, организмы биосистемы живого вещества приводят к перестановкам в геохимических рядах подвижности микроэлементов в морской экосистеме, а показатели численности, биомассы, видового разнообразия гидробионтов служат индикаторами ее экологического благополучия. Исходя из всего вышесказанного, целесообразно исследовать бактериальную, фито- и зоопланктонную продуктивность МАКЭС и МГЭС черноморского шельфа Украины.

Естественный ход колебаний абиотических факторов и ритмика поступлений биогенов и загрязняющих веществ с речным и промышленно-бытовым стоком в экосистему шельфа приводят к двум взаимосвязанным последствиям, оказывающим влияние на гидробионтов: ухудшению «потребительских» качеств водной среды МАКЭС и развитию эвтрофикации с изменением структуры биосистем. Живое вещество МАКЭС первым принимает на себя любые возмущения среды и передает их в трансформированном виде другим подсистемам МАКЭС и МГЭС. Существенно, что применительно к загрязнителям возникает демпфирующий эффект, когда их удаление по каналам биоседиментации тормозится за счет вовлечения в продукционно-деструкционные процессы, происходящие в биосистемах. Величина этой лагфазы во многом определяется термическим режимом сезона года, структурой и уровнем развития ЖК МАКЭС [79].

Бактериопланктон. Качественные характеристики бактериопланктона и интенсивность его функционирования являются важными показателями трофического статуса и экологической обстановки водоемов [80].

Согласно эколого-санитарной классификации поверхностных слоев водной среды МАКЭС, к классу чистых относятся воды, в которых численность гетеротрофных бактерий в 1 мл колеблется в диапазоне 0,1–1,0 тыс. клеток. Увеличение этого показателя до 1,1–5,0 тыс. клеток характерно для водной среды МАКЭС удовлетворительной чистоты; диапазон значений от 5,1 до 10,0 тыс. клеток и выше 10,0 тыс. клеток соответствует уровню загрязненных и грязных вод [81], что свидетельствует о высоком уровне содержания легко минерализуемых органических соединений.

Используя эти критерии, авторы работы [82] оценивают воды от 25,8 до 54,0 % прибрежной площади шельфа как «грязные». К категории «чистых» относятся воды 0,0 – 35,4 % площади всего региона. Как правило, на участках МАКЭС удаленных от береговой линии проявляется эффект разведения, когда плотность гетеротрофных организмов уменьшается. Следует отметить, что гетеротрофные бактерии прибрежной зоны, находясь под прессом химических

техногенных токсикантов, изменяют свои свойства (резистентность, патогенность) в сторону увеличения их агрессивности.

Большое количество легкоусвояемых веществ влечет за собой длительное существование в водной среде МАКЭС патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, а в ряде случаев (при благоприятном температурном режиме) и их интенсивное размножение. В связи с этим, для МАКЭС, как и для аквальных экосистем континентальных водоемов регламентируется содержание сапрофитных аллохтонных микроорганизмов с температурным оптимумом роста 37 ^{0}C. Количество микроорганизмов этой категории отражает степень биологического загрязнения водной среды акваэкосистем. По их числу в водной среде МАКЭС определяют «чистые» (до 0,1 тыс. кл./мл), «загрязненые» (0,1– 1,0 тыс. кл./мл) и «сильно загрязненные» (более 1,0 тыс. кл./мл) акватории.

По совокупности имеющихся данных, МАКЭС акватории описываемого шельфа можно охарактеризовать как «загрязненную» и «сильно загрязненную» (1,3–53,3 % и 36,7–82,7 % соответственно). Только в период осенней и весенней гипотермии на 7,9 и 10,0 % станций соответственно количество сапрофитов соответствует категории «чистых» вод. В июле и сентябре по всей МАКЭС акватории не регистрируется ни одного участка, водная среда которого могла бы быть отнесена к категории «чистая». В осенний период в приднепровско-бугском районе МАКЭС количество станций с «сильно загрязненной» водой достигает, в %: 25,0–27,3, в Одесском заливе – 31,2–33,3, дунай-днестровском районе – 57,1–81,8. В начале сентября количество станций с такой категорией водной среды МАКЭС достигает максимума во всех трех регионах: 85,7, 77,3 и 87,5 % соответственно [83].

Исследования общей численности бактерий в водах шельфа, которые проводятся с 50-х годов прошлого столетия, свидетельствуют о значительном изменении структурных характеристик бактериопланктона во времени. В частности, если по плотности бактериального населения поверхностные слои водной среды МАКЭС в 50-е годы XX ст. соответствовали олиго- и мезотрофному уровню, то в настоящее время – эвтрофному.

На фоне ярко выраженной тенденции к повышению численности микроорганизмов в водной среде акваэкосистемы шельфа Черного моря, обращают на себя внимание другие изменения в структуре бактериопланктона. В 50- и 60-е годы прошлого столетия, изучая вертикальное распределение батериопланктона, исследователи [83] пришли к выводу, что в микрослое на границе «вода–воздух» создаются экологические условия, благоприятствующие интенсивному развитию бактериальной жизни. Например, в северо-западной части Черного моря содержание микроорганизмов в упомянутом микрослое (0,2 см) весной, летом и осенью в десятки, сотни, а иногда и в тысячи раз было выше, чем в глублежащих слоях водной среды МАКЭС и составляло 1500–73200 тыс. кл./мл [84]. Наблюдения, проведенные в 1972 г. [85], подтвердили существование повышенного содержания бактерий в слое на границе «МАКЭС – МГЭС». Иссле-

Фитопланктонная часть ЖК МАКЭС на ее границе с МАЭС в районе придунайского шельфа в летне-осенний период представлена более, чем 65 видами и разновидностями водорослей, относящихся к 6 отделам. Наиболее разнообразными являются перидиниевые водоросли (до 40 видов), диатомовые представлены около 16 видами и разновидностями. Выявлено также до 5 видов золотистых, 2 вида синезеленых, по 1 виду – зеленых и эвгленовых водорослей. Количество клеток фитопланктона в приграничном с МАЭС слое МАКЭС в районе придунайского шельфа варьирует от 0,2 до 4,0 млрд кл./м^3 (в среднем 2,3 млрд кл./м^3), а их биомасса от 2 до 17 г/м^3 (в среднем 8,6 г/м^3).

Пространственное распределение фитопланктона в пространстве МАКЭС черноморского шельфа Украины характеризуется значительной неоднородностью. Наиболее высокие значения численности (3,1–4,0 млрд кл./м^3) и биомассы (11,0–17,0 г/м^3) фитопланктона выявлены в районах МАКЭС с распресненной водной средой, сформировавшейся под влиянием акваэкосистемы р. Дунай. Они, в частности, прослеживаются в виде« языка» от прибрежной части сублиторальной зоны МАКЭС на восток к о. Змеиный. Вторая зона со сравнительно высокими количественными показателями развития фитопланктона (2,8–3,8 млрд. кл./м^3 и 10,0–13,0 г/м^3) в МАКЭС располагается северо-восточнее. Вдали от берега количество фитопланктона в приграничном с МАЭС слое МАКЭС несколько уменьшается (0,2–1,7 млрд кл./м^3 и 2,0–8,0 г/м^3).

По биомассе в летне-осенний период среди фитопланктона доминируют диатомовые водоросли, составляя 75–96 % его суммарной биомассы, в основном, за счет диатомеи *Cerataulina bergonii*. Однако, в мористой зоне МАКЭС доминирует другая крупная диатомея – *Rhisosolenia calcar-avis*, давая здесь 60–80 % суммарной биомассы фитопланктона.

Видовой состав перидиниевых водорослей наиболее разнообразный в мористой зоне МАКЭС, однако их вклад в суммарную биомассу фитопланктона, по сравнению с диатомовыми водорослями, незначительный. Основу биомассы перидиниевых водорослей составляют крупные виды родов *Ceratium, Peridinium, Gymnodinium*. В зоне влияния акваэкосистемы р. Дунай в МАКЭС встречаются мелкие клетки золотистых, зеленых и сине-зеленых водорослей, характерных для сильно распресненных районов МАКЭС, которые составляют до 24 % суммарной численности фитопланктона.

В зимне-весенний период фитопланктон придунайского района МАКЭС представлен более, чем 73 видами и разновидностями водорослей, которые относятся к следующим отделам: *Bacillariophyta* – 31 вид, *Pyrrophyta* – 26, *Chlorophyta* – 7, *Cyanophyta* – 4, *Chrysophyta* – 3, *Euglenophyta* – 2. Наиболее массовыми видами, составляющими 50–80 % численности или биомассы суммарного фитопланктона из диатомовых являются *Ditylum brightwellii, Sceletonema costatum, Nitzschia delicatula,* перидиниевых- *Gymnodinium splendens,* разные виды из р. *Peridinium, Exuviaella,* а также сине-зеленые из р. *Oscillatoria*. Средние размеры клеток изменяются от 676 до 9192 мкм^3, составляя в среднем 3457 мкм^3.

В придельтовой зоне МАКЭС фитопланктон состоит, в основном, из очень мелких клеток, включая пресноводный комплекс, и находится в очень угнетенном состоянии вследствие высокого содержания взвеси минеральных и органических частиц, выносимых в МАКЭС из акваэкосистемы р. Дунай.

В распределении суммарной численности фитопланктона в целом отмечается постепенное ее снижение от прибрежной зоны сублиторальной части МАКЭС в сторону МАКЭС открытого моря, а наивысшие значения биомассы и среднего объема клеток характерны для районов элиторальной МАКЭС.

Особенности развития фитопланктона имеют непосредственное влияние на состояние всей экосистемы в целом и, в первую очередь, на последующие звенья трофической цепи (в первую очередь, зоопланктон) ЖК МАКЭС и МГЭС.

Зоопланктон. СЗ шельф Черного моря является акваторией, в пределах которой негативные последствия техногенной деяльности человека проявились наиболее остро. Его экосистема, являющаяся в функциональном плане важнейшей частью экосистемы Черного моря, – самая большая в Средиземноморском бассейне гипертрофированная экосистема. Она сформировалась под влиянием наложением потоков вещества, энергии и информации экосистем рек Дунай, Днестр, Днепр и др. Наиболее стремительно процессы эвтрофирования МАКЭС СЗ шельфа развивались до 90-х годов XX ст., что привело к цепочке последовательных изменений биологической структуры экосистемы во всех ее звеньях, в т. ч. и в зоопланктоне, который является соединительным звеном между фитопланктоном и нектоном, составляя основу питания рыб и их молоди. Наиболее эти изменения коснулись приустьевых районов МАКЭС, в частности той части ее пространства, которая вплотную примыкает к пространству влияния экосистемы р. Дунай. Многолетними исследованиями ОФ ИнБЮМ НАН Украины в СЗ части черноморского шельфа показано, что возростание продукции шельфовых экосистем при высокой степени эвтрофированности сопровождалось сокращением биологического разнообразия при преобладающем развитии мелкотелых и короткоциклических видов. Количество видов зоопланктона до эвтрофирования составляло 200 (по данным исследований 1973 г). После эвтрофирования МАКЭС оно сократилось до 162. По данным исследований, проведенных в 1984–1994 гг. [89] в структуре зоопланктона также произошли глубокие изменения. В конце 70-х и начале 80-х годов XX ст. ядра зоопланктона составляли 10–12 видов, а в последующие годы наблюдалось доминирование одного, реже двух видов. Это *Noctiluca miliaris,* а в приустьевых районах, особенно весной, коловратки р. *Synchaeta* [90] в летний период в квазиоднородном слое МАКЭС у ее границы с МАЭС могли также доминировать копеподы р. *Acartia* и ветвистоусые рачки *Pleopis polyphemoides* [91].

Эвтрофирование на начальном этапе сопровождалось значительным повышением общей численности и биомассы зоопланктона в МАКЭС, в результате его показатели по данным исследований, проведенных в 1981–1987 гг. возросли на порядок [92]. Однако, одновременное с высокими количественными по-

казателями развития мезозоопланктона снижение запасов планктоноядных рыб послужило причиной вспышки развития медузы *Aurelia aurita*. Далее, при массовом развитии медуз вселении и резкой вспышке развития нового вселенца – гребневика мнемиопсиса, наблюдается катастрофическое снижение численности кормового зоопланктона [93]. Немаловажную роль, по мнению большинства исследователей, в этом сыграл планктоноядный хищный гребневик мнемиопсис, максимальное развитие которого отмечено в начале 90-х годов XX ст. в районах МАКЭС, близких к дельте р. Дунай. По данным румынских исследователей [94] значительное снижение в летний период численности и биомассы мезозоопланктона в 90-е годы XX ст. также объясняется развитием гребневика мнемиопсиса. В придунайском районе МГЭС черноморского шельфа Украины численность кормового зоопланктона по данным исследований, проведенных в 1995 г. уменьшилась на порядок при сохранении общей численности мезозоопланктона на уровне 60-х годов XX ст. [92]. В последние годы наблюдается некоторая деэвтрофикация водной среды МАКЭС, о чем свидетельствуют сокращения численности *Noctiluca miliaris* и *Pleopis polyphemoides* при увеличении численности мезотрофных видов [92]. Одновременно наблюдается возобновление численности рыб с пелагическим типом развития.

Зоопланктон МАКЭС Черного моря характеризуется достаточно богатым видовым разнообразием. В МАКЭС СЗ части моря Л.Г. Коваль выделила 150 видов голопланктонных организмов, в т. ч. солоновато-водные и пресноводные организмы прибрежья. В работе [95] для МАКЭС Черного моря указано 120 видов планктеров и около двух десятков видов пелагических личинок донных животных, число последних в данное время увеличилось до 40 видов.

Основу ЖК МАКЭС в СЗ части моря в 60–70-е годы XX ст. составляли мелкие рачки: *Acartia clausi, Pseudocalanus elongatus, Calanus euxinus, Paracalanus parvus, Centropages ponticus, Penilia avirostris, Podon polyphemoides, Oithona similis* і *O. nana*, а также *Sagitta setosa, Oicopleura dioica, Tintinnoidae*, личинки моллюсков, полихет, десятиногих и усоногих рачков. Все эти организмы служат объектом пищи для многих планктоноядных рыб и их молоди. Значительную роль в формировании биомассы зоопланктона в МАКЭС СЗ шельфа также играет водоросль *Noctiluca miliaris* – представитель динофлагелят. Максимум ее развития отмечается весной. Являясь сапрофитом и хищником, этот организм по своим функциональным характеристикам, по месту в трофической цепи, а также по размерах стоит ближе к зоопланктону. Кроме того, массовым видом был гребневик *Pleurobrachia rhodopis*. Однако оба этих вида не являются кормом для рыб, а наоборот, личинки последних конкурируют с ними за пищу. В летний период значительная, а иногда и подавляющая часть эпипланктонного сообщества была представлена ветвистоусыми рачками, среди которых массовыми видами были *Penilia avirostris, Evadne spinifera, Podon leucarti, Podon intermedius, Evadne nordmani, Pleopis polyphemoides, Pseudoevadne tergestina*. Они формировали более половины суммарной биомассы мезозоопланктона.

Изучение TS-характеристик показало, что по отношению массовых видов зоопланктона к температуре и солености водной среды МАКЭС их можно разделить на эвripластичные и стенопластичные виды. К стенотермным принадлежат *C. ponticus*, *P. avirostris, E. spinifera*, представляющие тепловодный комплекс. К стенотермным холодноводным относятся *C. euxinus*, *O. similis, P. rhodopis*, к эвритермным *A. clausi, P. parvus, O. nana*, *O. dioica, S. setosa* и частично *N. miliaris*.

На протяжении года происходили некоторые изменения видового состава зоопланктона в МАКЭС. Летом, на ее границе с МАЭС, где водная среда хорошо прогревается, появляются тепловодные виды, а зимой холодноводные виды, которые широко представлены не только в глубинных слоях МАКЭС, но и на ее границе с МАЭС.

В 70-е годы прошлого столетия по сравнению с 60-ми уменьшился удельный вес в планктоне *A. spinifera*, а также тепловодных эпипланктонных копепод – *C. ponticus, Acartia latisetosa, Pontella mediterranea, P. parvus*, при этом значительно возросла роль ноктилюки в зоопланктоне. В конце 80-х, особенно в начале 90-х годов прошлого столетия, наблюдались дальнейшие изменения в составе зоопланктона СЗ части МАКЭС шельфа. Из планктона исчезали *A. latisetosa, A. clausi*, малая форма, *O. nana*. Практически не встречались представители вида *Pontellidae*. Редкими видами стали копеподы *C. ponticus* и *P. parvus*. Сократилось количество видов кладоцер.

В последние два десятилетия в МАКЭС СЗ шельфа отмечаются существенные изменения суммарных показателей зоопланктона и количественного соотношения его компонентов. В 70-е и в начале 80-х годов прошлого столетия количественные показатели зоопланктона, в связи с эвтрофией вод были высокими. Так, в 1983–1984 годы в предустьевом районе Дуная летом численность зоопланктона достигала 180 тыс. экз./м^3, а биомасса –11 г/м^3 [92]. В составе зоопланктона в это время резко преобладали *N. miliaris, A. clausi* и *P. poliphemoides*. Сверхвысокие концентрации ноктилюки (10–559 г/м^3) отмечались летом 1986 г. в районе устья Дуная в 25–30 милях от берега на акватории более чем 100 км^2 [92]. Весной, когда количественные показатели первичной продукции фитопланктона в МАКЭС резко возрастают, численность зоопланктона также повышается, но в связи с тем, что в зоопланктоне преобладают мелкие организмы, в т. ч. молодь бентоса, его биомасса в целом невелика.

Характер питания зоопланктона служит основой для разделения организмов по трем основным трофическим уровням. Основные виды зоопланктона преимущественно эврифаги указываются в работе [95]. При разделении животных по трофическим уровням исходят из преобладающего потребления той или иной пищи, так *P. elongatus* относят к фитофагам, старшие стадии обоих видов акарции к эврифагам, а младшие к фитофагам, старшие стадии ойтонид к хищникам, а младшие к эврифагам. Тонкие фильтраторы – ойкоплевры, кладоцеры, коловратки и личинки некоторых бентосных животных отнесены к

фитофагам. К хищникам отнесена и ноктилюка. Хищный зоопланктон в Черном море формируется, в основном, макрозоопланктоном. Это хетогнаты (*S. setosa*), гребневики (*P. rhodopis*), а в последние годы прибавился мнемиопсис и медузы: сцифомедузы *Aurelia aurita* и *Rhyzostoma plumo* и в меньшей мере – гидромедузы.

В 70-е годы прошлого столетия выедание растительноядным планктоном имеющейся биомассы фитопланктона в природных планктонных сообществах МАКЭС открытого моря достигало 50 %. Результаты анализа трофической структуры зоопланктона в МАКЭС района придунайского шельфа свидетельствуют о низком уровне развития растительноядного планктона, что позволяет говорить о низком потреблении водорослей и соответственно о преобладании иных механизмов утилизации новообразованного органического вещества, в частности, его бактериальной деструкции.

В зоне трансформации речных вод, по сравнению со смежными акваториями, обычно наблюдается увеличение числа видов, численности и биомассы зоопланктона, что является проявлением краевого эффекта на границе сосуществования солоновато-водной и морской фаун [89]. Однако, в целом зоопланктон, например, в МАКЭС района придунайского шельфа по видовому составу не отличается разнообразием. Видовой состав копепод и кладоцер в конце 90-х годов прошлого столетия был беднее по сравнению с 70–80-ми годами. В МАКЭС этого района и в МАКЭС центральных районов акватории Черного моря отсутствуют личинки десятиногих раков, типичные для мелководья. В 1998 г. в МАКЭС района придунайского шельфа были обнаружены несколько экземпляров *Oithona nana,* которая в начале 90-х годов прошлого столетия исчезла из планктонного сообщества, а также единичные экземпляры двух видов средиземноморской фауны *Oncae minuta* и *Rhincalanus sp.* В это же время впервые в этом районе выявлен новый для МАКЭС Черного моря вид – гребневик *Beroe ovata.*

По многолетним данным, полученным при изучении МАКЭС района взморья Дуная, просматривается общая для всей МАКЭС Черного моря тенденция снижения количественного развития зоопланктона в 90-е годы прошлого столетия. Численность мезопланктона в сентябре 1997 г. оказалась на порядок ниже, чем в 1987 г. При этом в последние годы наблюдается повсеместное увеличение количества личинок организмов биосистемы живого вещества МГЭС в планктоне МАКЭС (в частности, количество личинок полихет в придунайском районе МАКЭС возросла почти втрое).

МАКЭС района дунайского взморья в настоящее время постоянно находится в динамическом состоянии, о чем свидетельствуют резкие колебания численности ее ЖК, а также появление новых видов организмов. В многолетней динамике численности мезопланктона МАКЭС просматривается негативный тренд. Если в 50-е годы прошлого столетия МАКЭС шельфовые районы западной части Черного моря являлись основными аккумуляторами жизни в отличие от ха-

листаз, то в 90-е – наблюдалась прямо противоположная картина, вплоть до практически полного исчезновения зоопланктона в МАКЭС наиболее мелководных участков шельфа не только в период массовой вспышки мнемиопсиса, но и до нее.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Муратов М.В.* История тектонического развития глубокой впадины Черного моря и ее возможное происхождение // Изв. АН СССР. Серия геол., 1962. – № 9. – С. 184–191.
2. *Милановский Е.Е.* Проблема происхождения Черноморской впадины и ее место в структуре Альпийского пояса // Вестник МГУ. Сер. геол., 1967. – №1. – С. 8–15.
3. *Андрусов Н.И.* Верхний плиоцен Черноморского бассейна / Геология СССР. – Л., 1929. – Ч. 2. – Вып. 3. – 30 с.
4. *Архангельский А.Д., Баталина М.А.* К познанию истории развития Черного моря. // Изв. АН СССР, ОМФИ, 1929. – № 8. – С. 691–706.
5. *Страхов Н.М.* Современные осадки морей и океанов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 645 с.
6. *Ковалевский С.А.* Происхождение Крыма и Черного моря // Природа, 1966 – № 3. – С. 108–113.
7. *Вигинский В.А.* Новейшие тектонические режимы и позднеальпийская геодинамика Азово-Черноморского бассейна в свете проблемы происхождения впадины Черного моря // Разведка и охрана недр. – М., 1996. – № 10. – С. 15–24.
8. *Белявский Н.А., Михайлов А.Е.* Строение и происхождение впадины Черного моря // Тектоника Средиземноморского пояса. – М.: Наука, 1980. – С. 10–21.
9. *Кропоткин П.М.* Механизм движений земной коры // Геотектоника. – 1967. – № 5. – С. 18–27.
10. *Юдин В.В., Герасимов М.Е.* Геодинамика Крымско-Черноморского региона: Матер.конф. – Симферополь, 1997. – С. 16–23.
11. *Сулиди-Кондратьев Е.Д., Козлов В.В.* Деструкция земной коры в зоне сочленения Африкано-Аравийского континента и Средиземноморского складчатого пояса // Тектоника Средиземноморского пояса. – М.: Наука, 1980. – С. 22–39.
12. *История* океана Тетис. АН СССР. Ин-т океанологии. – М.: 1987. – 154 с.
13. *Хаин В.Е., Ломидзе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики. – М.: Изд–во МГУ, 1995. – 478 с.
14. *Муравейник Ю.А.* Глубинное строение до 1400 км и нефтегазометаллогения Средиземного Тетиса // ДНАН Украины. – 1997. – № 8. – С.132–137.
15. *Архипов И.В., Терехов А.А.* Развитие представлений о геологической природе и возрасте Черного моря // Строение и эволюция земной коры и мантии Черного моря. – М.: Наука, 1989. – С. 6 – 9.
16. *Шнюков Е.Ф., Щербаков И.Б., Шнюкова Е.Е.* Палеоостровная дуга севера Черного моря. – К.: ННПМ НАНУ; «ЧОРНО – БЫЛИНТЕРФОРМ», 1997. – 288 с.
17. *Manetti P, Boccaletti M., Peccerilo A.* The black Sea: Remnant of a marginal basin behind the Srednegorie – Pontides island arc system during the Upper Cretaceous – Eocene times // Boletino di geofisika, teorica ed applicata. – 1988. – V.XXX. – № 117 / 118. – P. 39–51.

18. *Тихоненков Э.П.* Основные черты геодинамики Крымского сейсмоактивного региона // Геодинамика Крымско-Черноморского региона: Матер. конф. – Симферополь, 1997. – С. 35–41.
19. *Земная* кора и история развития Черноморской впадины / Под ред. Ю.Д. Буланже. – М.: Наука, 1975. – 355 с.
20. *Артюшков Е.В., Шлезингер А.Е., Яншин А.Л.* Механизм образования глубоководных бассейнов Средиземноморского пояса // Тектоника Средиземноморского пояса. – М.: Наука, 1980. – С. 10–21.
21. *Сравнительно-тектонический* анализ осадочных чехлов глубоководных бассейнов Средиземноморского пояса / Л.И. Лебедев, Я.П. Маловицкий, М,В. Муратов и др. // Тектоника Средиземноморского пояса. – М.: Наука, 1980. – С. 22– 30.
22. *Чекунов А.В.* Проблемы Черноморской впадины // Геофиз. Журнал. – 1987. – № 4. – С. 3–45.
23. *Шнюков Е.Ф., Щербаков И.Б., Шнюкова Е.Е.* Ломоносовский подводный массив: новые факты к решению проблемы формирования Черноморской впадины // Геология и полезные ископаемые Черного моря: Матер. междунар. конф. – К.: Карбон ЛТД, 1999. – С. 23–31.
24. *Коболев В.П.* Геодинамическая эволюция Черноморской мегавпадины // Геофиз. журн. – Т. 25. – № 2. – 2003. – С.15–35.
25. *Паталаха Е.И., Гончар В.В. Трегубенко В.И.* Новый взгляд на современный орогенез Горного Крыма: механизм процесса // Геол. журн. – 2003. – № 1. – С. 118–126.
26. *Геология* шельфа УССР. Тектоника. – К.: Наук. думка, 1987. – 152 с.
27. *Соллогуб В.Б.* Тектоника передовых прогибов альпийской геосинклинальной области и сопредельных районов Европейской части СССР. – К.: Изд-во АН УССР, 1960. – 93 с.
28. *Гончаров В.П., Непрочнов А.И.* Геоморфология дна и вопросы тектоники Черного моря // Междунар. геол. конгр. Проблема 10. Морская геология. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 94– 104.
29. *Муратов М.В.* Тектоническая структура и история развития областей, отделяющих Русскую платформу от горных сооружений Крыма и Кавказа // Сов. геология. – 1955. – № 48. – С. 33–65.
30. *Гаркаленко И.А., Богаевский Л.Г., Безверхов Б.Д.* Некоторые данные о геологическом строении северо-западной части Черного моря // Геофиз. сб. – 1969. – Вып. 8. – С. 45–49.
31. *Самсонов И.А., Краснощек А.Я.* Новые представления о тектоническом строении Предобруджья и северо-западной части акватории Черного моря // Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР. – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1969. – Вып. 3. – С. 94–109.
32. *Гаркаленко И.А., Никифорук Б.С. Михайлов В.М., Чекунов А.В.* Глубинное строение и основные особенности развития северо-западного сектора Черного моря и прилегающих районов // Сов. геология. – 1969. – № 8. – С. 37–52.
33. *Тектоника* и история развития северо-западного шельфа Черного моря / Ю.Г. Моргунов, А.В. Калинин, П.Н. Куприн и др. – М.: Недра, 1981. – 88 с.
34. *Тихоненков Э.П., Пустовитенко Б.Г.* Особенности геодинамики северо-западного шельфа Черного моря // Природные условия взморья реки Дунай и о. Змеиный: современное состояние экосистемы / Под ред. В.А. Иванова, С.В. Гошовского: НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 1999. – С. 109–126.
35. Геодинамическая карта Украины. М. 1:1000000. Объяснительная записка / В.Г. Пастухов, К.П. Астахов, М.К. Багинян и др. – К., 1993. – 213 с.

36. *Рогоза О.И., Чацкий В.П., Прямкова Л.А.* О геологическом строении Михайловской мульды (северо-западный шельф Черного моря) // Сов. геология. – 1984. – № 8. – С. 71–76.
37. *Чекунов А.В., Гаркаленко И.А., Харечкин Г.Е.* Глубинные разломы Северного Причерноморья и сдвиговые перемещения по ним // Изв. АН СССР. Сер. Геология. – 1965. – № 11. – С. 63–71.
38. *Строение* складчатого основания Равнинного Крыма / М.В. Муратов, В.Г. Бондаренко, Л.Г. Плахотный и др. Геотектоника. – 1968. – № 4. – С. 54–69.
39. *Пасынков А.А., Плахотный Л.Г., Горбатюк В.М.* Морфотектоника Крымского полуострова и ее связь с развитием экзогенных геологических процессов // Геол. журн.– 1992. – № 2. – С. 79–81.
40. *Геология* Черного моря (По результатам геологических и геофизических исследований НИС «Киев» в Черном море (5 рейс): Препр. / ОМГОР НПМ НАНУ – К.: 1997. – 190 с.
41. *Альбов С.В.* Галечники на дне Черного моря // Природа, 1958. – Вып. 10. – С. 92–93.
42. *Пасынкова Л.А.* Морфогенез и морфоструктурное районирование Украинского сектора континентального склона Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа / Под. ред. В.А. Иванова – Севастополь: МГИ, 2001. – Вып. 2. – С. 202–212.
43. *Геодинамика* Крымско-Черноморского региона // Матер. науч. конф.: 22–28 сентября 1996г. г. Симферополь – г. Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 1997. – 150 с.
44. *Геологические* исследования рейса НИС «Киев» в Черном море (4 рейс): Препр. / НАН Украины, ОМГОР ЦНПМ; 96-2 – К., 1996. – 233с.
45. *Газовые* факелы Черного моря / Е.Ф. Шнюков, А.А. Пасынков, С.А. Клещенко и др. – К.: ПП «ГНОЗІС», 1999. – 133 с.
46. *Борисенко Л.С.* Геолого-тектонические условия генерации землетрясений Азово-Черноморского региона // Геофиз. журн. – 1990. – № 3. – Т. 12. – С. 39–48.
47. *Благоволин Н.С., Смирнова И.П.* Карта падений рек Крыма и ее структурно–геоморфологический анализ / Комплексные исследования Черноморской впадины. – М.: Наука, 1970. – С. 89–97.
48. *Белоусов В.В., Вольвовский Б.С.* Строение и эволюция земной коры и верхней мантии Черного моря. – М.: Наука, 1989. – 208 с.
49. *История* геологического развития континентальной окраины западной части Черного моря / Под ред. П.Н. Куприна. – М.: МГУ, 1988. – 306 с.
50. *Геология* шельфа УССР // Среда. История и методика изучения / Е.Ф. Шнюков, В.И. Мельник, Л.И. Митин и др. – К.: Наук. думка, 1982. – 175 с.
51. *Герасимов М.Е.* Глубинное строение и эволюция южной окраины Восточно-Европейской платформы по сейсмостратиграфическим данным в связи с нефтегазоносностью: Автореф. дис... д-ра геол.-мин. наук: 12.02.94. – ВНИГНИ. – М., 1994. – 75 с.
52. *Современные* геологические процессы на побережье Черного моря / Под ред А.И Шеко. – М.: Недра, 1976. – 44 с.
53. *Федоров П.В.* Плейстоцен Понто-Каспия. – М.: Наука, 1978. – 163 с.
54. *Щербаков Ф.А., Корнеева Е.В., Забелина Э.К.* Стратиграфия позднечетвертичных отложений Черного моря // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. – М.: Наука, 1978. – С. 46–51.

55. *Семененко В.Н., Ковалюх Н.Н.* Абсолютный возраст верхнечетвертичных отложений Азово-Черноморского бассейна по данным радиоуглеродного анализа // Геол. журн. – 1973. – Вып. 33. – № 6 – С. 91–97.
56. *Стратиграфические* исследования шельфа и континентального склона Черного моря // Геология и полезные ископаемые Черного моря / А.В. Иванников, Ю.И. Иноземцев, Н.А. Маслаков и др. – К.: Карбон ЛТД, 1999. – С. 185–192.
57. *Маслун Н.В., Иноземцев Ю.И., Оровецкий Ю.Ю.* Нижнекайнозойские отложения Крымского континентального склона (результаты 37-го рейса НИС Академик Вернадский): Препр. / АН УССР, Ин-т геол. наук; 89-13 – К., 1989. – 36 с.
58. *Андрусов Н.И.* Предварительный отчет об участии в Черноморской глубоководной экспедиции в 1890 г. // Изв. Рус. геогр. о-ва. – Санкт-Петербург, 1890, 26. – Вып. 2. – С. 398–410.
59. *Пасынков А.А., Шнюкова Е.Е.* Проявление меланжа на континентальном склоне Черного моря // Геофиз. журн. – 2003. – Т. 25. – № 2 – С. 145–147.
60. *Геология,* геофизика и гидрография северо-запада Черного моря / Отв. ред. Е.Ф. Шнюков. – К.:ОМГОР НАН Украины, 1998. – 185 с.
61. *Архангельский А.Д., Страхов Н.М.* Геологическое строение Черного моря // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол., 1932. 8. – № 1/2. – С. 23–30.
62. *Геология* шельфа УССР. Стратиграфия. // Отв. ред. Ю.В. Тесленко– К.: Наук. думка, 1984. – 184 с.
63. *Сучков И.А.* К геоморфологии северо-западного шельфа Черного моря // Геология и полезные ископаемые Черного моря. – К.: Карбон ЛТД, 1999. – С. 276–279.
64. *Мельник Е.В.* Эволюция обстановок осадконакопления в верхнем плейстоцене-голоцене на северо-западном шельфе Черного моря // Геология и полезные ископаемые Черного моря. – К.: Карбон ЛТД. – С. 215–217.
65. *Гожик П.Ф., Шелкопляс В.Н.* Рельеф шельфа Горного Крыма и Керченского полуострова // Геол. журн. – 2003. – № 1. – С. 28–33.
66. *Геологическая* структура и геодинамика района Крымской АЭС / А.В. Чекунов, Н.М. Гавриленко, Е.Ф. Шнюков, Э.П. Тихоненков и др. // Геофиз. журн. – 1990. – Т. 12. – № 3. – С. 3–28.
67. *Гидрометеорология* и гидрохимия морей СССР: Гидрометеорологические условия. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1991. – Т. IV. – Вып.1 – 220 с.
68. *Изменчивость* гидрофизических полей Черного моря / А.С. Блатов, Н.П. Булгаков, В.А. Иванов и др. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 239 с.
69. *Горячкин Ю.Н.* Характер течений и колебаний уровня // Природные условия взморья реки Дунай: Современное состояние экосистемы. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 1999. – С. 146–152.
70. *Гидрология* и гидрохимия морей: Гидрометеорологические условия моря / Под. ред. А.И. Симонова Э.Н. Альтмана. – Л.: Гидрометеоиздат,1975. – Т. IV. – Вып. 1. – 236 с.
71. *Запевалов А.С.* Ветровое волнение // Природные условия взморья реки Дунай: современное состояние экосистемы. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 1999. – С. 152–160.
72. *Кропотов С.И.* Характеристика гидрооптического режима вод в придунайском районе Черного моря // Природные условия взморья реки Дунай: Современное состояние экосистемы. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 1999. – С. 160–174.

73. *Толмазин М.Д.* Гидролого-гидрохимическая структура вод в районах гипоксии и заморов северо–западной части Черного моря // Биология моря. – 1977. – Вып. 43. – С. 12–17.
74. *Селин П.Ю.* Гидрохимические особенности гипоксийно–аноксийных зон на северо-западном шельфе Черного моря. – М., 1988. – 34 с. – Рус. – Деп. в ВИНИТИ. № 298 – В88.
75. *Кондратьев С.И., Внуков Ю.Л.* Структура вертикального распределения кислорода в водах приустьевого взморья Дуная в осенний период 1997 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 1999. – С. 125–137.
76. *Стан* довкілля Чорного моря. Національна доповідь України. – Одеса: Астропринт, 2002. – 46 с.
77. *Загородняя Ю.А., Скрябин В.А.* Современные тенденции изменений зоопланктона в прибрежных районах Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. – С. 87–95.
78. *Фащук Д.Я.* Сероводородная зона северо-западного шельфа Черного моря: Природа, причины возникновения, механизмы динамики // Водные ресурсы. – 1995. – 22. – № 5. – С. 568–584.
79. *Грузов Л.Н., Люмкис П.В., Нападовский Г.В.* Исследование пространственно-временной структуры планктонных полей северной половины Черного моря в 1992 – 1993 гг. // Исследование экосистемы Черного моря. – Одесса: Ирэн-полиграф, 1994. – С. 94.
80. *Ковалева Н.В., Серман А.И.* Исследование современного состояния бактерипланктона Черного моря // Исследование экосистемы Черного моря. – Одесса: Ирэн-полиграф, 1994. – С. 134 – 139.
81. *Шандала М.Г., Григорьева Л.В.* Санитарная микробиология эвтрофированных водоемов. – К.: Здоровье, 1985. – 222 с.
82. *Микробиологические* исследования прибрежных вод Черного моря на участке от устья Дуная до устья Днепра // Исследование экосистемы Черного моря / В.А. Иваница, Г.В. Худченко и др. – Одесса: Ирэн-полиграф, 1994. – С. 54–67.
83. *Заварзин Г.А.* Бактериальное население поверхности пленки воды в водоемах дельты Волги. – Тр. Ин-та микробиологии, 4,3 – 1955. – С. 10–25.
84. *Драчев С.М, Корш Л.Е., Митягина О.В.* О микрофлоре поверхности водоемов // Гигиена, эпидемиология, микробиология и иммунология. – Прага, 2, 1957. – 372 с.
85. *Цыбань А.В.* Бактерионейстон и бактериопланктон в шельфовой области Черного моря. – К.: Наук. думка,1970. – 272 с.
86. *Нижегородова Л.Е., Нидзведская Л.М.* Сравнительная характеристика бактерий в различных горизонтах воды северо-западной части Черного моря // Биология моря, 1985. – 1. – С. 63–65.
87. *Дунай* – основной источник эвтрофирования Черного моря / Ю.П. Зайцев, Г.П. Гаркавая и др. // Гидробиологический журн. – 1989. – Т.25. – Вып. 4. – С. 21–105.
88. *Гутельмахер Б.Л., Ведерников В.И., Суханова И.И.* Фотосинтетическая активность массовых видов фитопланктона Черного моря // Экосистемы пелагиали Черного моря. – М.: Наука, 1980. – С. 118–122.
89. *Александров Б.Г., Зайцев Ю.П.* Биоразнообразие придунайского района Черного моря в условиях эвтрофирования. Экосистема взморья украинской дельты Дуная. – Одесса: Астропринт, 1998. – С. 304 – 322.

90. *Экосистема* взморья украинской дельты Дуная / Б.Г. Александров, Ю.П. Зайцев, Л.В. Воробьева и др. – Одесса: Астропринт, 1998. – 329 с.
91. *Загородняя Ю.А., Скрябин* В.А. Современные тенденции изменений зоопланктона в прибрежных районах Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. – С. 87–95.
92. *Александров Б.Г.* Влияние Дуная на формирование мезозоопланктона Черного моря // Экосистема взморья украинской дельты Дуная. – Одесса: Астропринт, 1998. – С. 245–261.
93. *Ковалев А.В., Островская Н.А., Скрябин В.А., Загородняя Ю.А.* Состояние зоопланктона, как кормовой базы рыб в Черном море // Современное состояние ихтиофауны Черного моря. Ин-т биологии Южных морей НАН Украины. – Севастополь, 1996. – С. 131–152.
94. *Petran A., Moldoveanu M.* Remargues sur le developpement quantitatif du zooplancton de la Mer Noire en face du delta du Danube. – Rapp. Comm. int. Mer Medit, 1992. – 33. – 265 p.
95. *Сорокин Ю.И.* Черное море. – М.: Наука, 1982. – 216 с.

РАЗДЕЛ 3

ЗАГРЯЗНЕНИЯ МГЭС И МАКЭС ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

Все загрязнения по характеру воздействия на морские экосистемы обычно подразделяются на шесть основных групп: высокотоксичные, биогенные, редокс-активные, взвешенные вещества, чуждые данной экосистеме живые организмы и патогенные организмы. Нами выделена еще одна группа природных загрязнителей — аномальные газовые выделения.

В настоящем разделе представлены результаты изучения загрязнения МГЭС и смежной МАКЭС, в основном, СЗ области черноморского шельфа Украины высокотоксичными веществами. Они практически всегда имеют антропогенное происхождение и поступают в МГЭС и МАКЭС главным образом со сточными водами промышленных предприятий, с поверхностным смывом с приморских, прежде всего, сельскохозяйственных территорий и с речным стоком. Существует множество высокотоксичных веществ, поэтому главы данного раздела посвящены только их основным группам.

ГЛАВА 1

Тяжелые металлы и токсичные элементы в компонентах МГЭС и МАКЭС шельфа Украины

Одной из важнейших проблем, возникающих при исследовании антропогенного загрязнения черноморского шельфа, является изучение содержания и распределения тяжелых металлов и токсичных элементов в компонентной подсистеме его МГЭС и МАКЭС. В своих природных концентрациях многие металлы играют важную роль в биохимических процессах. Промышленная деятельность и поступление элементов в составе сточных вод могут существенно разбалансировать природное равновесие. В силу как естественно-исторических (природных), так и техногенных причин концентрации токсичных металлов и элементов в водной среде МАКЭС Черного моря достаточно высоки и превышают в 2–5 раз фоновые значения, характерные для водной среды МАКЭС открытых морей и океанов (табл. 3.1.1). В водной среде шельфовой части черноморской МАКЭС наблюдаются высокие содержания цинка, меди, кадмия и марганца [1]. В отличие от СЗ шельфа Черного моря, где содержание металлов в водной среде МАКЭС обусловлено влиянием стоков рек и промышленной индустрией, в водной среде МАКЭС шельфа Крымского полуострова (включая его керченскую часть), наряду с антропогенной составляющей, значительна роль природного поступления металлов в МАКЭС из МГЭС с ювенильными водами и при эманациях по тектонически активным зонам, которые широко развиты в этом районе. МАКЭС в прикерченском районе шельфа испытывает также влияние выноса вод Азовского моря.

Вопрос нормирования концентраций тяжелых металлов и токсичных элементов в компонентах морской экосистемы не нашел до настоящего времени однозначного решения, в первую очередь, в части определения качества донных осадков. Если для морских вод в Украине существуют критерии оценки по предельно-допустимым концентрациям (ПДК для рыбохозяйственных водоемов) и фоновому уровню, то концентрации в осадках соотносят только с фоновыми значениями. В настоя-

ТАБЛИЦА 3.1.1

Металл	Горизонт вод	Концентрация токсичных металлов и элементов, мкг/л в водной среде МАКЭС по районам шельфа		
		СЗ	крымскому	керченскому
Ртуть ПДК – 0,1	поверхностный	0,005-0,090 0,034	0,010-0,162 0,041	0,005-0,063 0,032
	придонный	0,005-0,063 0,030	0,010-0,074 0,036	0,010-0,090 0,038
Мышьяк ПДК – 10,0	поверхностный	1,00-8,0 3,39	1,00-5,00 2,28	0,50-12,00 4,00
	придонный	1,00-8,00 4,26	1,00-7,00 3,09	0,50-12,00 3,38
Цинк ПДК – 10,0	поверхностный	1,50-150,5 18,04	2,10-167,0 22,83	0,89-157,00 26,90
	придонный	1,60-242,0 18,45	0,97-111,60 13,23	0,89-239,0 30,22
Никель ПДК – 10,0	поверхностный	0,23-11,10 2,70	0,85-4,00 1,96	0,27-6,50 2,00
	придонный	0,46-7,20 2,25	0,41-6,10 2,16	0,33-12,10 2,25
Медь ПДК – 5,0	поверхностный	1,20-220,00 14,83	1,90-140,40 21,63	1,20-42,30 10,47
	придонный	1,10-107,00 10,17	1,20-135,00 8,31	1,10-48,70 10,00
Свинец ПДК – 10,0	поверхностный	1,50-13,90 4,82	1,50-10,30 3,56	1,60-16,90 5,27
	придонный	1,50-10,30 3,73	1,50-9,50 3,73	1,70-16,90 4,60
Хром ПДК – 1,0	поверхностный	0,74-10,50 2,65	0,76-2,60 1,55	0,46-4,30 1,29
	придонный	0,50-7,60 2,32	0,50-8,00 2,10	0,46-4,30 1,48
Кадмий ПДК – 5,0	поверхностный	0,15-1,60 0,54	0,015-0,87 0,52	0,15-0,44 0,23
	придонный	0,16-0,64 0,26	0,20-0,57 0,35	0,15-0,48 0,23
Марганец ПДК – 10,0	поверхностный	0,38-39,60 5,73	0,54-9,60 2,91	0,62-19,4 3,02
	придонный	0,39-61,87 3,72	0,49-25,50 6,30	0,34-19,4 3,16
Кобальт ПДК – 5,0	поверхностный	0,77	0,94	0,60
	придонный	0,77	0,94	0,60

окончание табл. 3.1.1

Металл	Горизонт вод	Концентрация токсичных металлов и элементов, мкг/л в водной среде МАКЭС по районам шельфа		
		СЗ	крымскому	керченскому
Литий	поверхностный	0,06-0,12 / 0,10	0,07-1,10 / 0,16	0,06-0,11 / 0,09
	придонный	0,07-0,12 / 0,10	0,06-0,12 / 0,10	0,07-0,13 / 0,10
Стронций ПДК – 10,0	поверхностный	4,20-4,80 / 4,57	4,30-5,00 / 4,68	4,30-5,00 / 4,69
	придонный	4,30-4,90 / 4,58	4,30-5,20 / 4,69	4,30-5,20 / 4,72
Железо ПДК – 0,05	поверхностный	0,014-0,440 / 0,068	0,016-0,247 / 0,062	0,018-0,438 / 0,096
	придонный	0,015-0,372 / 0,054	0,011-0,319 / 0,055	0,016-0,438 / 0,088

Примечание. В числителе – диапазон колебаний, в знаменателе – среднее значение [1].

щее время Украинским научным центром экологии моря разработаны стандарты качества донных осадков морей, в основу которых положены европейские нормативы и требования. К сожалению, эти стандарты, несмотря на их очевидную необходимость, не утверждены на государственном уровне.

В соответствии с предложенными стандартами (которые используются в настоящей монографии), ПДК металлов в донных осадках составляют, мг/кг: кадмий – 0,8; ртуть – 0,3; свинец – 85; цинк – 140; медь – 35; мышьяк – 29; хром – 100; никель – 35. Средние концентрации тяжелых металлов в МГЭС большинства регионов Черного моря не превышают ПДК (рис. 3.1.1).

На этом фоне выделяются районы взморья Дуная и Одесского залива, где концентрации тяжелых металлов могут превышать стандартные во много раз. Следует отметить, что уровень содержания тяжелых металлов в других регионах, хотя и ниже установленной нормы, но приближается к ней, за исключением районов, удаленных от побережья – о. Змеиный, филлофорное поле и морская часть Тендровской косы. Концентрации некоторых элементов – Pb, As, Cd, Hg в осадках практически всех районов вдвое ниже ПДК. Таким образом, с одной стороны, интегральный уровень загрязнения донных отложений украинского шельфа Черного моря, в целом, следует считать незначительным, а донные отложения характеризовать как условно чистые, либо умеренно-загрязненные [2]. С другой стороны, при анализе временной изменчивости, выявляются отдельные результаты с концентрациями тяжелых металлов в той или иной части шельфа, значительно превышающие стандарт. Это относится, в первую очередь, к меди, хрому, цинку в меньшей мере – к ртути и кадмию. За последние четыре года отмечена тенденция к снижению максимальных концентраций в

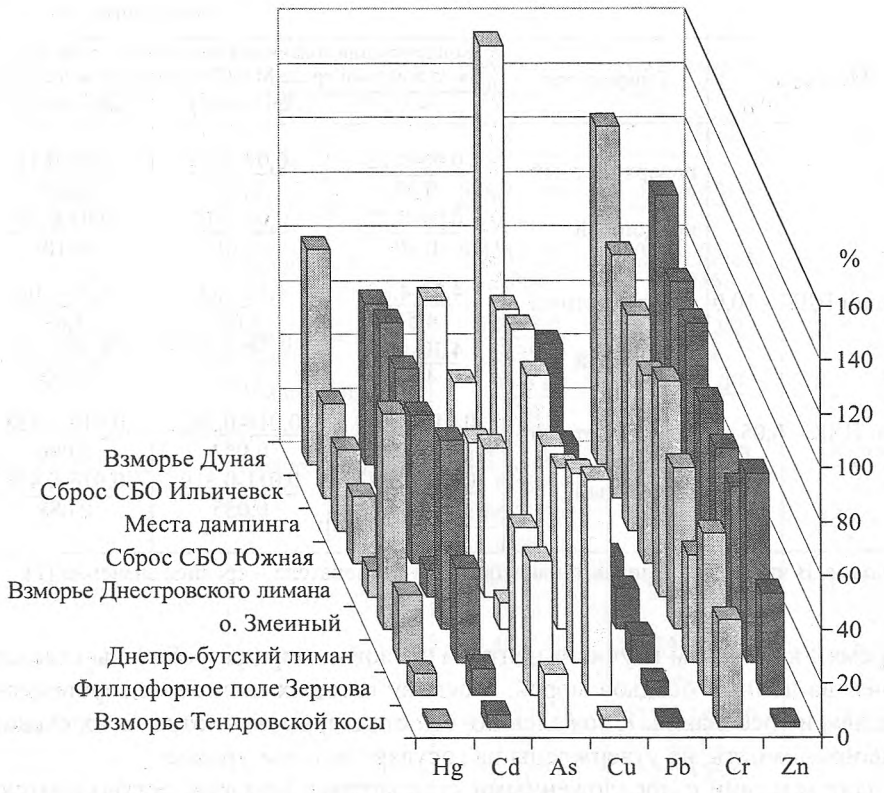
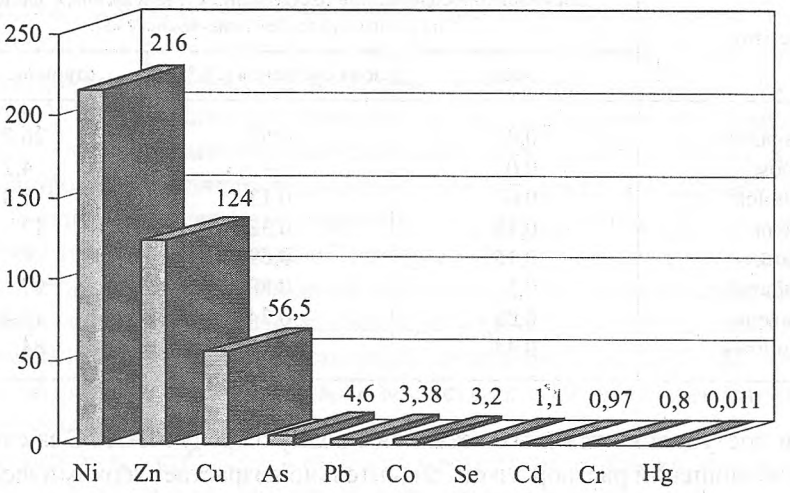


РИС. 3.1.1. Концентрация тяжелых металлов в МГЭС черноморского шельфа (% по отношению к ПДК [2])

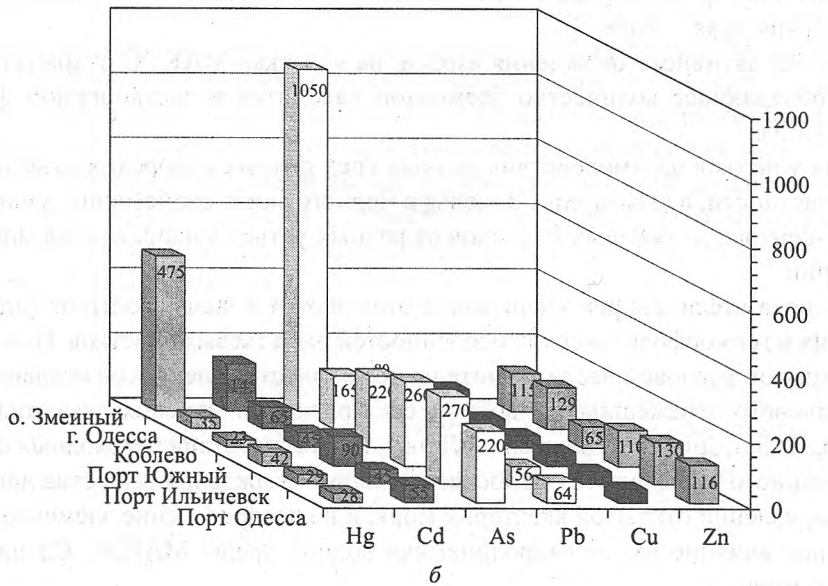
осадках придунайского района ртути, кадмия и цинка, а за последние два года – меди и хрома. На рис. 3.1.2, *а,б* показано содержание токсичных металлов в бентосных организмах СЗ шельфа Черного моря.

Результаты исследования загрязнения бентоса тяжелыми металлами свидетельствуют о значительном накоплении в тканях животных и растений целого ряда элементов. В частности, мидии в загрязненных территориях в большей мере, по сравнению с другими металлами, накапливают цинк и мышьяк в концентрациях, превышающих ПДК. Эти же два элемента накапливаются в камбале-калкан, однако в ней только мышьяк превышает норму ПДК для рыб. Несколько выше чем в рыбе и моллюсках концентрации меди, цинка и мышьяка в филлофоре [2].

Основная часть тяжелых и токсичных металлов поступает в акваторию в составе терригенного вещества. Закономерности его поступления в МГЭС обусловлены не только географическими и ландшафтными особенностями областей питания, но и геологическим строением района накопления. В прямой зависимости от интенсивности вертикальных движений отдельных тектонических блоков района находятся как скорости накопления, так и тип осадочного вещества.



а



б

РИС. 3.1.2. Содержание токсичных металлов:*а* – в филофоре поля Зернова, мг / кг [2]; *б* – в мягких тканях мидий, %

ТАБЛИЦА 3.1.2

Елемент	Соотношение содержания растворенных и взвешенных элементов на разных участках акваэкосистемы		
	река	зона смешения (10 ‰)	открытое море
Ванадий	0,07	0,52	26,7
Хром	0,07	–	4,2
Свинец	0,03	0,13	5,8
Медь	0,19	0,32	17
Цинк	0,15	0,69	7
Кобальт	0,2	0,88	97
Никель	0,09	0,24	16,3
Мишъяк	0,48	4,95	84

При поступлении тяжелых металлов в водную среду МАКЭС за счет изменений соотношений раствор:взвесь значительно возрастает геохимическая подвижность элементов. В табл. 3.1.2 приведены данные изменений растворенных и взвешенных форм элементов на разных участках аквальной экосистемы в направлении река – море.

За счет активного осаждения взвеси, на участках МАКЭС открытого моря преобладающее количество элементов находится в растворенной форме (табл. 3.1.3).

Для участков взаимодействия водных сред речных и морских акваэкосистем, в частности, в акватории СЗ шельфа Черного моря, свойственно уменьшение концентраций тяжелых металлов от речных устьев в направления морской акватории.

Но показатели для рек значительно отличаются в зависимости от гидрологических и геоморфологических особенностей их устьевых участков. При условии закрытой русловой части значительное количество элементов оседает в зоне начального перемешивания водных сред речных и морских акваэкосистем (Днепр, Ю.Буг, Днестр). Для дельты Дуная, из-за отсутствия переходных структур лиманного типа, участок наиболее активного осаждения вещества двигается в направлении открытой акватории моря, и на распределение элементов значительное влияние имеет гидродинамика водной среды МАКЭС СЗ шельфа Черного моря.

Содержание тяжелых металлов в МАКЭС шельфа зависит от ряда факторов. К ним относятся: гранулометрический, минералогический составы твердого компонента, количество в МГЭС органического вещества, тип источника поступления загрязнителя, процессы диагенетических преобразований и жизнедеятельность донных организмов или биосистемы МГЭС [3]. Значительную роль в осаждении металлов играет биогенная седиментация.

Главным образом биогеохимические процессы происходят в устьевых частях рек и в частях акватории моря, в пределах районов поступления речных вод. «Массовое развитие фитозоопланктонных организмов при их значительной способности к накоплению металлов, рассматривается как мощный фактор трансформации вещества в системе река–море, как биогеохимический барьер» [4]. Увеличение геохимической подвижности возникает также благодаря поглощению элементов планктонными организмами – поступление элементов в процессе жизнедеятельности зоофитопланктона в окружающую среду происходит как в составе скелетных частей, так и в виде растворимых металлоорганических соединений, которые поступают как в процессе жизнедеятельности, так и при отмирании организмов. Это хорошо прослеживается на примере изменений концентраций меди и цинка, в зонах интенсивного развития планктона, когда летний максимум содержания растворенных элементов связан с разложением органического вещества и повторным вовлечением их в биологический кругооборот [5].

Растворимые металлоорганические соединения обладают высокой миграционной способностью, которая также приводит к изменениям пространственного распределения элементов, и в конечном счете, временных и пространственных условий накопления тяжелых металлов в донных отложениях. В накоплении тяжелых металлов в шельфовой зоне значительная роль приходится на биогенную седиментацию. Биологическое поглощение делится на биоассимиляцию и биофильтрацию. Если продуценты извлекают металлы непосредственно из морской среды, то консументы – через сорбцию и питание. Аккумулируясь в биоте, металлы мигрируют трофической цепью и консервируются в донных отложениях. Из факторов распределения тяжелых металлов в осадках и водной толще, которые обусловливаются биотой, также надо указать два главных процесса:

ТАБЛИЦА 3.1.3

Сезон	Горизонт	Среднее содержание химических элементов, мкг/л, в водной среде МАКЭС СЗ области Черного моря				
		Ni	Cu	V	Pb	Co
Весна	поверхность	3,72	7,85	0,6	2,5	0,6
	дно	3,5	6,18	0,6	2,5	0,6
Лето	поверхность	2,46	8,21	0,86	2,5	–
	дно	2,18	5,55	0,73	2,5	–
Осень	поверхность	4,56	5,35	1,1	4,21	–
	дно	3,82	7,41	1,05	4,05	–
Среднегодовая	поверхность	3,58	7,14	0,85	–	–
	дно	3,17	6,38	0,79	–	–

– процесс биотурбации – на участках дна с высокой активностью роющих организмов, благодаря последним, тяжелые металлы активно мигрируют в толщи донных отложений, и в условиях загрязненной среды происходит смешивание в вертикальном разрезе верхних «грязных» слоев осадков и нижних «чистых»[3,6]. Это, в свою очередь, делает невозможным четкое определение фоновых геохимических концентраций по подстилающим слоям донных отложений.

– влияние бентосных организмов – в процессе извлечения элементов из водной толщи происходит перераспределение тяжелых металлов между жидкой и твердой фазами (ртуть и кобальт переходят, например, из твердой в жидкую фазу, цинк и кадмий – наоборот).

Естественное распределение тяжелых металлов в Черноморских осадках происходит дифференцированно, в зависимости от многих факторов, основные из которых следующие:

1. Формы миграции в естественных водах [7], – содержание большинства элементов возрастает в ряду: пески, ракушечники – алевриты, алевропелиты – глины, и в обратном порядке, уменьшается в ряду: глины – глинисто-известковые илы – известняково-глинистые илы. Исключение составляет ванадий – элемент, связанный с теригенной составляющей более, чем на 90 %.

2. Геохимические изменения фазового состояния в условиях разных сред и коцентрации отдельных элементов при межфазовом распределении. Наиболее активно мигрируют в воде ртуть и мышьяк, несколько слабее – цинк, медь. Интенсивность миграции никеля, свинца, кобальта ниже интенсивности их биологического кругооборота в 10 раз, железа – в 100 раз [8].

3. Способность ассимилироваться биокомпонентами морской среды. Элементы состава взвеси грубых размерностей (Cr, V, Ti) плохо накапливаются в органическом веществе планктона (2–3% реального содержимого в илах), а Cu, Pb, Ni в планктонных формах достигают 10–50% концентрации элемента в осадке [9].

Ниже приводится анализ распределения ряда тяжелых металлов и элементов в областях мобилизации, компонентах МГЭС и МАКЭС черноморского шельфа. Данные по превышению содержаний элементов в верхней части донных осадков получены в результате сравнительного анализа содержаний в осадках в разные временные периоды, с интервалом в 30–40 лет. При этом учитывали средние концентрации элементов, определенные для разных вещественно-генетических типов осадков района исследований [4].

Медь (Cu). *МАКЭС.* Концентрация Cu в водной среде МАКЭС шельфовой зоны Черного моря определяется, главным образом, значительной геохимической подвижностью элемента [10]. Распределение Cu в акватории имеет значительные сезонные колебания, которые обусловлены двумя главными факторами: интенсивным поступлением Cu с речными водами и активной ассимиляцией биотой.

С речным стоком в весенние месяцы в акваторию поступает более 2/3 Cu общегодового количества. Это приводит к тому, что весной очаги значительного повышения концентраций меди локализованы в тех частях акватории, кото-

рые граничат с устьевыми участками Днепро-Бугского лимана (до 20 мкг/л), Днестровского лимана (более 8 мкг/л), Дуная (превышает 10 мкг/л). Средняя концентрация составляет, по данным работы [5], 7,85 мкг/л в поверхностном слое вод и 6,18 мкг/л – в придонном. Высокая степень поглощения как взвешенной, так и растворенной Cu планктоном обусловливает в летний сезон значительное содержание элемента в воде, при среднем – 8,21 мкг/л (поверхностный слой) и 5,55 мкг/л (придонный) [5]. Соответственно, районы повышенных концентраций приурочены к участкам интенсивного развития фито- и зоопланктона. Последние наблюдаются на некотором удалении от зон перемешивания морских и речных вод. Значительная роль планктона, как концентратора элемента, подтверждается тем, что содержание в планктонных формах Cu в осадке может достигать 10–50 % [9].

Осенью перепады концентраций Cu на акватории шельфа несколько выполаживаются и при максимальном содержании в зоне Днепровско-Дунайского междуречья (11–20 мкг/л), средняя концентрация у дна составляет 7,41 мкг/л, несколько превышая среднюю в поверхностных слоях (5,35 мкг/л) [5].

Значительные локальные превышения содержаний меди в воде, непосредственно связанные с прибрежными антропогенными источниками также, в большинстве своем, имеют сезонный характер. Высокое содержание Cu на участках моря, граничащих с сельскохозяйственными площадями суши, является следствием использования ядохимикатов и удобрений [11]. Исследования показали, что содержание меди в морской воде на участках поступления дренажно-сбросных вод с полей орошения (Тендровский, Джарылгачский заливы, угловая часть Каркинитского залива) в вегетационный период достигает 120 мкг/л, а в среднем составляет 30 мкг/л. Из постоянных точечных источников выделяются урбанизованные очаги, где концентрации элемента в 5–6 раз, а иногда на порядок превышают его содержание в водах шельфа [6]. Максимальные концентрации соответствуют глубоководным точкам сбросов сточных вод на шельфе ЮБК и СЗ части моря.

По данным работы [12], для побережья Одессы, где содержание растворенной Cu достигает значений, на порядок превышающих фоновый, выявлены следующие антропогенные источники: акватории портов и судоремонтных заводов (до 40 мкг/л), точки сбросов городских стоков (120 мкг/л), участки поступления стоков с виноградных плантаций (до 60 мкг/л).

Таким образом, необходимо отметить высокие (на уровне ПДК и выше) содержания Cu в морской воде, особенно на урбанизованных территориях СЗ шельфа, а также в районе крымского и керченского побережий.

МГЭС. Концентрация Cu в донных отложениях шельфа связана, главным образом, с количеством терригенного вещества в осадках. В значительной мере это обусловлено наличием геохимических барьеров, что, в первую очередь, относится к участку авандельты Дуная и Дунайского взморья [13]. Содержание Cu во всех типах осадков увеличивается соответственно возрастанию примеси пе-

лита и уменьшается при увеличении содержания $CaCO_3$ [4]. По другим данным [5], активная ассимиляция Cu бентосными организмами приводит к ее накоплению в зонах развития раковинных отложений. Благодаря микробиологической активности сульфатредуцирующих бактерий в осадках, может происходить трехкратное обогащение Cu органического вещества относительно исходного осадка [5].

В результате сравнения фактического и картографического материала, полученного на различных временных этапах антропогенной нагрузки на акваторию, а также анализа данных других авторов, выделены зоны: максимальных перепадов содержаний Cu в донных отложениях в разные временные периоды; превышений фоновых концентраций более чем в 1,5–2 раза.

По площади аномального содержания Cu в донных отложениях зоны можно расположить в ряду:

1. Участок акватории Днестровский лиман – дельта р. Дунай. Занимая небольшую полосу донных отложений на уровне Днестровского лимана, участок постепенно расширяется на юг и на уровне дельты р. Дунай в субширотном направлении достигает 50 км. Среднее содержание элемента составляет 50–60 г/т, т.е. превышает фоновые концентрации в донных осадках в 2 раза. В работе [15] превышения геохимического фона Cu на этом участке оценивается в 2,5 раза. По данным работы [5], в 90-е годы XX ст. концентрации элемента были значительно выше и составляли 100–700 г/т. Повышенные концентрации элемента на большей части района наблюдаются в глинисто-известняковых илах, а также в илах алевро-пелитовой размерности. Аномальное содержание Cu в осадках района обусловлено рядом факторов, описанных выше (значительное количество антропогенных источников поступления, направления течений, значительная биопродуктивность района, вещественно-генетические типы отложений).

2. Донные отложения Одесского залива. Концентрация Cu в составе терригенных илов в пределах структуры Днепровского желоба более, чем в 1,5 раза превышает фоновый уровень СЗ шельфа, составляя в среднем 40–50 г/т при максимальных концентрациях 160 г/т [5]. По данным работы [16], повышенное содержание в пределах Одесского залива наблюдается также в песках и ракушечниках районов Одесской банки и Ильичевского поднятия, составляя в среднем двух- пятикратное превышение фоновых значений, при максимальном содержании 45 г/т [16]. Районы повышенных концентраций хорошо согласуются с участками значительных скоростей осадконакопления (40–50 см/1000 лет), что подтверждает наличие антропогенного вклада в общее количество вещества, поступающего в донные отложения.

3. Участок дна на запад от Тарханкута (по некоторым данным, включая структуры Штормовую и Архангельского). Среднее содержание Cu в донных отложениях – 45–60 г/т, по другим данным достигает 100 г/т и выше [5], что, в среднем, составляет для разных вещественно-генетических типов развитых в районе осадков 2–5 кратное превышение. Поступлению вещества в донные от-

ложения участка способствуют антициклонические круговороты, обусловленные направлениями течений в районе – как ветровых, так и квазистационарной ветки ОЧТ. В отличие от Днестровско-Дунайского района и Одесского залива, главный источник поставки антропогенной Cu в данном случае не речной сток, а площадной смыв и аэрозольный перенос с сельскохозяйственных площадей и частично сбросы вод мелиоративных площадей северного Крыма.

Три вышеприведенные зоны повышенных концентраций сформированы мощными природными источниками поступления как природного, так и антропогенного вещества в акваторию – речным стоком, ветровыми и квазистационарными течениями, эоловыми потоками. В районе исследований также существуют участки загрязнения донных осадков второго порядка, наличие которых связано исключительно с антропогенной деятельностью. К ним можно отнести: 1. Донные отложения акваторий портов, участков скопления плавсредств. Загрязнение имеет локальный характер, но может составлять превышение над фоном на порядок и более (Донузлав, Севастопольские бухты – якорные стоянки плавсредств, нефтегавань Одесского порта, порты Ильичевска и Южного). 2. Районы дноуглубительных работ – порты Усть-Дунайск, Ильичевск, Одесса, Южный (превышения над фоном до 11 раз, концентрации достигают 200 г/т и более) [17]. 3. Зоны дампинга – содержание Cu в сбрасываемых грунтах и в разных районах может превышать фон в 3–5 раз, достигая 100 г/т. 4. Районы поступления сбросных вод с мелиоративных участков (угловая часть Каркинитского залива, Тендровский, Джарылгачский заливы). 5. Локальные участки дна, в мес-тах расположения буровых платформ.

Никель (Ni). *МАКЭС*. По данным работы [18], Ni в прибрежных морских незагрязненных водах в среднем составляет 1,8 мкг/л, но под антропогенным влиянием его содержание может увеличиваться до 2,5–15 мкг/л. Для акватории шельфа главным источником поступления Ni является речной сток. В морской воде основная часть Ni, в отличие от речных вод, находится в виде раствора. Частичное его извлечение из воды осуществляется в процессе поглощения планктоном, который 500-кратно концентрирует элемент [5]. Интенсивность миграции в воде Ni ниже интенсивности его биологического круговорота в 10 раз [19]. В биогеохимических циклах принимают участие и взвешенные твердые частички [18].

Весной содержание элемента составляет в среднем для шельфовых областей 3,72 мкг/л. Максимумы приурочены к Днепро-Бугскому лиману (10,3 мкг/л) и частично, к устью Днестровского лимана. Максимумы в придонном слое – на некотором расстоянии от районов Днепро-Бугского лимана (5,2 мкг/л), Днестровского (10,5 мкг/л), Дунайского гирла (6,6 мкг/л), восточной части Тендры (6,8 мкг/л). Летом характерно снижение концентраций в среднем по вертикали до 2,3 мкг/л с мозаичным распределением пятен повышенных концентраций (> 5 мкг/л). Осенью по содержанию Ni акватория шельфа делится на две части: площадь с концентрациями > 5мкг/л (полоса в половину акватории вдоль

линии Тендра – Днепровский, Днестровский лиманы, устье Дуная, которая распространяется в юго-восточном направлении). Остальная территория характеризуется концентрациями 1,4–5 мкг/л, при минимальных значениях в Каркинитском заливе [5].

Антропогенное поступление элемента в акваторию с береговых источников обусловлено, главным образом, аэрозольным переносом. Мониторинговые исследования на фоновой станции (крымский шельф, Кацивели) показали, что из всех исследованных элементов никель имеет максимальный междумесячный перепад содержаний в аэрозоле, составляющий от 0 до 310 г/т.

Участки повышенных концентраций Ni, связанные с хозяйственной деятельностью на море, известны на озере Донузлав и Ялтинском заливе (на фоновых станциях никель превышает 230 г/т, загрязнение связано с базированием плавсредств), бухтах полуострова Тарханкут, где Ni значительно превышает фоновые концентрации [6]. Повышенные концентрации Ni в районах дампинга и дноуглубления, как правило, временные и связаны со взмучиванием донных отложений при извлечении или складировании грунта в подводных отвалах.

МГЭС. Распределение Ni в донных отложениях акватории контролируют несколько основных факторов. Во-первых, значительная связь со взвешенным веществом (80 % от валового содержания [4]), где основной процесс обогащения Ni взвеси – сорбционное связывание [20]. Благодаря активным адсорбционным процессам и незначительной геохимической подвижности Ni способен накапливаться в донных отложениях в непосредственной близости от основных источников поступления [21]. Как указано в работе [18], накопление Ni в донных отложениях, особенно прибрежной зоны, коррелирует с активностью промышленных и бытовых источников загрязнения. Существенное влияние имеет поверхностный сток с городских территорий и сбросы сточных вод [21].

Максимальный коэффициент седиментационной концентрации Ni соответствует содержанию в небиогенных взвесях и растворе (концентрация в глинистых илах – n × 103, в карбонатных – в 10 раз меньше [20]). Это, а также факт локализации Ni в гранулометрической фракции 0,001 мм [22] обусловливает приуроченность максимальных концентраций Ni к глинистым илам терригенного генезиса.

По данным работ [4, 7], фоновые содержания Ni для осадков Черного моря составляют, в г/т: пески и ракушечники –9, алевриты – 50, глинистые илы – 67, глинисто-известковистые илы – 44, известково-глинистые илы – 40. Согласно картографическому материалу этих же авторов, среднее содержание Ni в акватории шельфа значительно ниже – 40 г/т.

Никель «не представляет собой важный или широко распространенный загрязняющий элемент по отношению к донным осадкам» [18], но по нашим материалам антропогенная составляющая имеет достаточно весомый вклад в повышение концентраций элемента в донных отложениях. При этом значительные площади с превышениями фоновых концентраций Ni имеют общую привязку к зонам акваторий, которые граничат с устьевыми частями главных рек Днепра и Дуная.

По превышениям фоновых концентраций выделяются:

1. Акватория Одесского залива – полоса дна от устья Днепровского лимана в юго-восточном направлении. Согласно исследованиям 1987–1996 гг. коэффициент концентрации Ni составляет 1,5–2. Превышения приурочены к участку дна акватории с разными вещественно-генетическими типами осадков. Участок пересекает зоны распространения известняково-глинистых илов, алеврито-пелитовые отложения и пески. Данные хорошо подтверждаются результатами исследований последних лет [16]. Коэффициенты концентрации для разных структур дна района составляют: Одесская банка – 3; Ильичевское поднятие – 2,5; Днепровский желоб – 1,5. В ракушечниках Ильичевского поднятия Ni в верхнем слое осадков по данным работы [16] превышает фон в 2–5 раз.

2. Участок дна, охватывающий (оконтуривающий) дельту Дуная на расстоянии 30–40 км от берега. Данные разных лет исследований значительно отличаются, в среднем за последние 15 лет наблюдается двукратное превышение фоновых концентраций, максимальные значения составляют 200 г/т и соответствуют пелитовым карбонатным илам [5,6,13].

3. Каркинитско-Тендровский район. Как указано в работе [24], обогащение верхнего слоя донных отложений Ni и некоторыми другими элементами происходило благодаря активному донному траловому промыслу. В среднем коэффициент обогащения Ni – 1,5. По подсчетам авторов работы [24], при средней мощности наилка 3 см, его общий объем составляет 100 млн т соответственно количество привнесенного в район со взвесью вещества и осажденного Ni будет достигать 5000 т. Надо заметить, что элемент в восточную часть СЗ шельфа также интенсивно поступает в составе аэрозолей и сточных вод. В юго-западной части шельфа содержание Ni несколько уменьшается, а в районе поднятий Штормовое и Архангельского коэффициент концентрации составляет 1,4 [22].

Из участков локального загрязнения выделяются районы дноуглубительных работ – порты Усть-Дунайск, Ильичевск, Одесса, Южный; свалки – Ильичевская, Дунайская [17]. Превышения здесь концентраций Ni в 2–3 раза имеют периодический характер и фрагментарное распространение.

Свинец (Pb). *МАКЭС.* В связи со слабой растворимостью Pb поступает с речным стоком в составе взвеси, наибольшее количество которой наблюдается во время паводка (табл.3.1.4). Максимальные концентрации характерны для крупнопелитовой и алевритовой фракций [10].

Одна из характерных черт поступления Pb в акваторию Черного моря – значительный объем составляющей атмосферного происхождения. Для акватории моря часть атмосферного вклада составляет 96 %. При этом речного – только 4 %. Если учитывать только территорию СЗ шельфа, то общее поступление в составе атмосферного аэрозоля (985 т/год) составляет около 1/11 от поступления в составе речного стока, а вклад антропогенной составляющей атмосферного происхождения в 1,5 раза превышает речной сток.

Свинцу свойственна очень высокая активность взаимодействия с органикой, способность аккумулироваться в тканях [14], хотя в эстуарных и прибреж-

ТАБЛИЦА 3.1.4

Форма содержания	Поступление Pb в МАКЭС СЗ области черноморского шельфа с речным стоком и его содержание в аквальных экосистемах рек водосбора			
	Дунай	Днестр	Ю. Буг	Днепр
	Поступление с речным стоком, т/год			
Раствор	308,9	4,8	–	93,8
Взвесь	10410	78	13	147
	Содержание свинца в водах рек водосбора СЗ шельфа (раствор – мкг/л, взвесь – г/т)			
Раствор	1,0–2,1	1,0–1,8	1,0	1,0–2,9
Взвесь	26–310	25–102	11–13	21–219

ных морских видах растений содержание Pb более низкое, чем в пресноводных [18]. Pb активно накапливается организмами трофических уровней – фито-, зоопланктоном, макрофитами. Содержание в гидробионтах может достигать 50–20000 г/т сухой массы [3]. Интенсивность миграции элемента в воде ниже интенсивности биологического круговорота в 10 раз [8].

Среднее значение содержания Pb в акватории Черного моря составляет 2 мкг/л (раствор). В морских водах в пределах шельфа наблюдаются значительные сезонные изменения концентраций элемента, что связано как со слабой миграционной способностью, так и с активной биологической ассимиляцией [5].

Весной концентрация Pb колеблется в пределах 2,5 мкг/л. В этот период повышенные концентрации наблюдаются в части акватории, граничащей с Днепро-Бугским лиманом (до 8 мкг/л). Летом в поверхностном слое общая концентрация элемента не изменяется, кроме превышений (22–58 мкг/л), которые наблюдаются к юго-западу от Тендры и к северо-западу от Тарханкута. Повышение содержаний Pb в придонных водах также наблюдаются в устье Днепро-Бугского лимана (7 мкг/л), Дуная (10 мкг/л) и на юго-востоке Тарханкута (до 25 мкг/л). Осенью концентрации в верхнем слое в среднем возрастают до 4,2 мкг/л, в Днестровско-Дунайском районе – до 10 мкг/л. Содержание Pb в придонных водах в среднем незначительно и превышает 4 мкг/л, максимумы локализованы в устьях Днепро-Бугского лимана (12 мкг/л).

Из техногенных источников, которые коррелируются с «яркими пятнами» повышенных концентраций в прибрежных водах и зонах хозяйственной деятельности на шельфе, в первую очередь, можна выделить:

1. Акватории портов, зоны дночерпания и дампинга грунтов, места скопления плавсредств. По данным работы [3], уровни концентраций в зонах интенсивного дампинга грунтов превышают фон на два порядка. Содержания Pb в водах Донузлава, Ялтинского залива, нефтегавани Одесского порта составляют до 250 мкг/л, значительные концентрации наблюдаются в зонах дночерпа-

ния в портах Южный, Севастополь, Ильичевск, Усть-Дунайск. Локальное загрязнение свалок соответствует содержанию Pb в донных осадках в портах, где осуществляется дночерпание [17]. На основных свалках – Ильичевська, Дунайская [17] превышения составляют 1,3–55,9 раза относительно фона.

2. Участки акватории, в которые поступают сбросные воды с мелиоративных систем. Главным образом это Тендровский и Каркинитский заливы, мелиоративные участки побережья Днестровского лимана и дельты Дуная. Антропогенное происхождение привнесенного в заливы Pb подтверждается хорошо выраженными сезонными колебаниями концентраций в морской воде и приуроченностью к участкам поступления сбросных вод с оросительных массивов.

Многократное превышение ПДК наблюдается в угловой части Каркинитского и Перекопского заливов [6], что, возможно, связано с атмосферным поступлением из индустриальных очагов (Армянск, Красноперекопск). В бухтах Тарханкута наблюдаются значительные превышения фонового уровня растворенного свинца.

3. Значительные концентрации Pb отмечаются в районах действующих МСП – превышения, которые могут составлять относительно фоновых значений более, чем в 2 раза , соответствуют участкам расположения платформ, г/т: Архангельская – 13,4, Штормовая – 15,1, Шмидта – 5,44.

МГЭС. Главные особенности Pb, которые непосредственно влияют на его седиментацию, следующие: 1. Слабая геохимическая подвижность и невысокая растворимость Pb. Это свойство обусловливает активное накопление в донных отложениях масс свинца, поступающего с речным стоком. 2. Активное поглощение биотой, что может приводить к накоплению Pb на участках акватории с высокой биологической активностью. 3. Микробиологическая активность сульфатредуцирующих бактерий. В ходе сульфидообразования концентрации Pb в органическом веществе могут превышать исходное значение Pb в 4 раза (органическая матрица живых моллюсков – 5 г/т Pb, органическая матрица мертвых моллюсков 20 г/т) .

В акватории шельфа присутствует значительное количество участков с повышенным содержанием Pb, но по площади развития они небольшие, характер распределения таких концентраций мозаичный, со значительной амплитудой. Наибольшие по площади аномальные районы – участки морского дна, прилегающие к устьевым частям лиманов (Днепро-Бугскому) и конусам выноса рек (Дунай). В максимальной мере загрязнены донные отложения авандельты Дуная. Концентрация Pb, превышающая фоновые значения, наблюдается в полосе акватории, проходящей вдоль побережья от Жебриянской бухты в юго-западном направлении, ограничиваясь шириной 20 км.

По нашим данным, возможно в связи с незначительным количеством опробований, среднее содержание элемента на участке Одесского залива составляет не более двухразового превышения фона, имея при этом мозаичный характер. Максимальные значения отмечаются на участке акватории, прилегающей к гир-

лу Днепровского лимана, ограниченной с юга структурой Одесской банки в пределах первых 20–30 км. По данным работы [16], содержание Pb в песках Одесской банки может достигать 20,5 г/т, в Днепровском желобе – 199,7, Ильичевском поднятии – 92,4 г/т.

Отмечены периодические повышения содержаний Pb на участках акватории, которые граничат с прибрежными площадями оросительного земледелия. По данным лаборатории Института гидробиологии НАН Украины на 1991 г., содержание Pb в донных отложениях Джарылгачского залива составляло в среднем 42 г/т в июне, и 124 г/т в октябре, что связано с поступлением в залив сбросных вод. По другим данным, содержание Pb в донных осадках на июнь и октябрь 1989 г. не превышало фоновых значений. Этот факт свидетельствует не только о значительных колебаниях содержаний Pb в осадках во времени, но и о влиянии гидродинамических процессов на изменения концентраций в верхней части отложений.

Несколько повышенное содержание Pb, как и большинства тяжелых металлов, наблюдается в Тендровско-Каркинитском районе и в центральной части СЗ шельфа (районы поднятий Штормовое и Архангельского). Это связано с нарушением типичного состава донных отложений траловым промыслом, который проводился в предыдущие годы и дампингом [22]. В пределах полей развития песчано-детритовых отложений и илистых ракушечников наблюдается скопление слоя глинистого ила. Содержание Pb в 1,5–2 раза превышает фоновые значения по району, что связано, очевидно, с привносом обогащенного вещества с соседнего (восточного) участка дна.

Площади распространения заиленных участков в целом совпадают с направлениями основных течений и расположены вдоль них (северо-западное в направлении Западно-Тендровского поднятия и северо-восточное и восточное в направлении Каркинитского залива). Квазистационарный циклонический круговорот в Каркинитском заливе – ловушка для пелитового материала. По расчетам авторов работы [22], при средней мощности пелита 3 см, его общий объем составляет 100 млн т, среднегодовое накопление составляет 10 млн $м^3$. Скорость седиментации (5–40 мм/год) на несколько порядков выше седиментации на остальной территории шельфа (5–40 мм/1000 лет).

Существенные источники поступления Pb, как загрязнителя – районы дноуглубления и дампинга. Небольшие площади техногенных аномалий компенсируются значительным содержанием Pb – уровень накопления при дампинге, по данным работы [3], может составлять до 100 фоновых значений. Основные районы дноуглубления – порты Усть-Дунайск, Ильичевск, Одесса, Южный; свалки – Ильчевская, Дунайская [17]. Превышения содержания свинца над фоновым значением здесь составляют 1,3 – 55,9 раза.

Незначительные концентрации наблюдаются в пределах контуров городских техногенных аномалий, что большей частью обусловлено атмосферным поступлением. Повышенные содержания Pb в донных отложениях Перекоп-

Влияние Евпатории и Севастополя на акваторию не имеет общего характера. Концентрации, превышающие нормы ПДК, приурочены к участкам поступления сбросных вод. Атмосферное поступление Cr в акваторию в пределах городских геохимических аномалий зависит от направления ветров. Средние содержания в атмосферных осадках зон урбанизованных очагов составляют 0,16, при диапазоне 0,01 – 0,5 мкг/л.

Рост содержания Cr происходит также в местах скопления плавсредств и в акваториях портов (оз. Донузлав, Севастопольские бухты), но имеет локальное развитие – при повышенных концентрациях Cr в Севастопольской бухте, его содержание на входе в бухту не превышает 0,1 мкг/л.

Значительно повышены концентрации Cr в водной среде в районах действующих морских стационарных платформ. Превышения концентраций в воде наблюдаются почти во всех районах размещения МСП, в мкг/л: Штормовая – 17–28,4; Голицино – 18–21; Шмидта – 6– 38,9 [28].

МГЭС. В целом, в распространении Cr в донных отложениях Черного моря наблюдается определенная тенденция, связанная со слабой подвижностью и инертностью Cr, в результате чего повышенные концентрации локализуются в прибрежных областях. Акватория СЗ шельфа является нетипичной в этом отношении – концентрации Cr здесь относительно низкие, не превышающие 45 г/т [4]. Повышенные значения наблюдаются в зонах взаимодействия речных и морских вод [10]. По фоновому содержанию в разных типах МГЭС Cr распределяется, как и большинство тяжелых металлов, согласно правилу возрастания максимумов от песков до глинистых илов и уменьшения к карбонатно-глинистым осадкам. Фоновые содержания микроэлемента приняты по данным работ [4,7], в г/т: пески и ракушечники – 25 (35), алевриты – 68, глинистые илы – 84, глинисто-карбонатные илы – 51, карбонатно-глинистые илы – 32.

Вышеприведенные данные соответствуют распределению концентраций Cr для донных отложений всей акватории Черного моря, но значительно завышены относительно шельфовой зоны. По данным того же источника, среднее содержание Cr на СЗ шельфе не превышает 45 г/т, что почти в 1,5 раза меньше вышеприведенных.

Повышения уровня содержания Cr в донных отложениях за счет антропогенных источников хорошо прослеживаются. Обогащение осадков коррелируется как с поступлением пыли и пепла из различных очагов в пределах техногенных геохимических аномалий (сжигание нефти, угля и древесины) [18], так и с источниками выноса в составе поверхностных вод с территории суши – как речных, так и площадных потоков. Полученные данные по перераспределению Cr в донных отложениях за последние десятилетия по данным разных авторов значительно отличаются как от данных, полученных нами, так и между собой. Однако, сохраняется общая тенденция накопления элемента. Зоны относительного накопления Cr можно условно разделить на две категории. Первая категория – прибрежные участки повышенного содержания Cr, которые связаны с

поступлением его в составе поверхностных вод и атмосферного аэрозоля из суши. К таким участкам принадлежат:

1. Полоса шельфа шириной 10 км, которая протягивается вдоль внешней части авандельты р. Дунай от южной части Жебриянской бухты. На участке развиты два типа осадков – песчано-алевритовые отложения и пелитовые илы. Среднее превышение над фоновым содержанием составляет два и значительно уменьшается в направлении открытой акватории шельфа. В целом по району наши данные хорошо согласуются с данными работы [15], где степень загрязнения также оценивается в два геохимических фона.

2. Район акватории на уровне Днестровского лимана. Зона повышенных концентраций направлена к северо-востоку, т.е. противоположно направлению основного течения. Северная граница по акватории проходит на уровне с. Затока. Коэффициент накопления составляет 1,5 – 2.

3. Одесский залив. Повышенное содержание наблюдается в трех геоморфологических структурных зонах – Днепровском желобе, Одесской банке и Ильичевском поднятии. Наибольшие перепады концентраций Cr отмечаются в донных отложениях в пределах Одесской банки, где зафиксированы его превышения более, чем в 3 раза. Для Ильичевского поднятия содержание Cr в донных отложениях в среднем соответствует фону, но иногда концентрации могут достигать высоких значений – 2–5 – кратных превышений. Обогащение осадков Cr в пределах Днепровского желоба распространяется на участок акватории от устья лимана до поселка Морское и составляет значения, меньше двух раз, но в отдельных точках может достигать 8–10 – кратных превышений. По данным работы [15], в среднем превышения в этом районе составляют для Cr 2–3 геохимических фона.

4. Джарылгачский залив – содержание Cr в прибрежных осадках курортной зоны г. Скадовска значительно повышено. По данным 22-х опробований (на 1991 г.) средняя концентрация элемента составляет 132 г/т, при максимальном значении (которое отвечает алевритовой размерности отложений) – 212 г/т.

К другой категории зон накопления Cr необходимо отнести участки антропогенного переотложения поверхностного слоя донных отложений под влиянием интенсивного донного тралового промысла. Процесс взмучивания верхней части донных отложений района с повышенными содержаниями Cr (в соответствии с вещественно-генетическими типами) сопровождается переносом взвеси главными течениями и переотложением в районах с другими свойствами поверхностного слоя осадков (с меньшим содержанием Cr). Наибольший участок такого типа площадью 3350 км^2 находится в Тендровско-Каркинитском районе и в центральной части шельфа (районы поднятия Штормовое и Архангельского) [22]. Переотложение глинистых илов происходит в пределах полей развития песчано-детритовых отложений и илистых ракушечников. Пелитовая размерность осаждающегося материала составляет 80–90 %. Содержание здесь Cr на 40–100 % превышает фоновые уровни по району.

Полученные нами результаты по содержанию Cr несколько отличаются от данных вышеуказанных авторов, однако относительный уровень обогащения соответствует вышеприведенному. Загрязнение, по нашим данным, носит фрагментарный характер. На участке с одним вещественно-генетическим типом отложений содержание Cr в расположенных вблизи точках отбора может изменяться в десятки раз.

Ванадий (V). *МАКЭС.* Низкая миграционная способность V является причиной приуроченности повышенных концентраций растворимой его формы к прибрежным районам моря. При средней концентрации по Черному морю, составляющей 1 мкг/л, содержание V в водах СЗ шельфа (по данным разных авторов) равняется в среднем 0,6 – 3 мкг/л при перепадах от 0,4 до 5,6 мкг/л. Относительно техногенного загрязнения участков акватории, литературные данные практически отсутствуют. Из прибрежных участков с повышеными концентрациями V, выделяются [29]:

1. Угловая часть Каркинитского залива и Перекопский залив – превышения достигают ПДК, и, вероятно, связаны с активным поступлением V в составе атмосферного аэрозоля с техногенной геохимической аномалией Армянско-Красноперекопского промышленного узла.

2. Бухты Тарханкута – превышения фонового уровня по V, но концентрации ниже ПДК.

МГЭС. Фоновые концентрации V соответсвуют особенностям переноса, при котором значительная часть V мигрирует в составе взвеси, и ассоциирована с взвешенными частичками среднего размера. Таким образом, максимальные значения по фоновому содержанию отвечают, в г/т: алевритам – 99 и глинистым илам – 98, содержание V в глинисто-карбонатных илах – 68 почти в два раза превышает концентрации в карбонатно-глинистых отложениях – 37. Минимальные концентрации V наблюдаются в песках и ракушечниках (13 и 47 г/т соответственно), хотя по некоторым данным [5], V свойственна высокая степень аккумуляции раковинами моллюсков. По данным работы [4], в общих чертах распределение V в верхнем слое осадков шельфа совпадает с распределением Cr.

В конце 90-х годов XX ст. концентрация V в донных отложениях акватории СЗ шельфа Черного моря [5] колебалась от 0 до 1200 г/т, при среднем содержании 127 г/т. Экстремумы свойственны приустьевым районам Дуная – зонам развития алевро-пелитовых илов, где средние концентрации достигают от 200 [13] до 500 г/т [5]. Концентрация V в этой ландшафтной зоне (авандельта Дуная) обусловлена близостью источника поступления осадочного материала [13]. Днестер и Днепр, главным образом, разгружаются в пределах своих лиманов.

Исследования донных отложений Джарылгачского залива выявили значительное содержание V в составе верхнего слоя осадков и заметные сезонные колебания концентраций. Максимальные содержания – 230 г/т, свойственны лет-

нему периоду. Средние концентрации летом составляют 80–133 г/т, осенью – 33–67 г/т. Межсезонные перепады значений достигают 2,5–3 раз, превышения фонового уровня – 3 раза.

Накопление V, как и других тяжелых металлов, происходит [12] в Тендровско-Каркинитском районе и в центральной части шельфа (районы поднятия Штормовое и Архангельского) в пределах полей развития песчано-детритовых отложений, а также илистых ракушечников. Содержание V на 40–100 % превышает фоновый показатель для шельфа.

Мышьяк (As). *МАКЭС.* Содержание растворенного As в воде СЗ шельфа в последние годы составляло в среднем 0,83 мкг/л, при максимальном 3,5 мкг/л (1999 г. [30]). В начале 90-х годов XX ст. содержание As было несколько выше, составляя для акватории шельфа 1,2 мкг/л, при среднем по Черному морю – 1,3 мкг/л [4].

Из локальных участков акватории, где содержание As имеет отчетливо антропогенный характер, можно отметить: 1. Участки портов, главным образом, связанные с перегрузкой разнообразных веществ: удобрений, угля, нефти [31], As также входит в состав красок для покрытия подводной части судов. 2. Прибрежные урбанизированные и индустриальные очаги (Одесса, Севастополь, Евпатория). Распределение концентраций As неравномерное, зависящее от наличия на побережье определенных источников поступления. При распределении As в водах побережья Одессы значительное повышение содержаний наблюдается в отдельных районах: участок Зеленый мыс – пляж «Отрада» (14 мкг/л), бухта между мысом Большой Фонтан – пляжем Золотой берег (14 мкг/л) [12]. Главное влияние на акваторию оказывают сточные воды и участки автомобильных подъездов к берегу.

МГЭС. Фоновое распределение As в донных отложениях имеет некоторые особенности, выделяющие этот элемент в ряду остальных. С одной стороны, главное свойство – способность в значительной концентрации накапливаться зоопланктоном, бентосом и высшей водной растительностью (наиболее активное накопление – моллюски и ракообразные). С другой стороны, накопление As происходит за счет химических процессов в воде и осаждения с тонкопелитовыми частицами взвеси. Максимальные концентрации As в донных отложениях отмечаются в глинистых – 12,9 г/т и карбонатно-глинистых илах – 15,9 г/т. Содержание в песках и ракушечниках минимально, и составляет в г/т: 10,6; в алевритах – 12,1, глинисто-карбонатных илах – 11,4.

На некоторых участках дна акватории СЗ шельфа Черного моря происходит постепенное накопление As в верхнем слое осадков. Повышение концентраций в районе Одесской банки составляет трехкратные величины, на Ильичевском поднятии – более чем двукратные, в Днепровском желобе достигает более чем трехкратных величин [16].

Содержание As в донных отложениях курортной зоны г. Скадовска достигает значительных величин, составляя в среднем более 30 г/т при максимальных концентрациях 64 г/т.

По нашим данным, повышение содержаний As в донных отложениях акватории СЗ шельфа имеет исключительно фрагментарный характер и незначительно по содержанию и площади распространения. Точки с максимальными значениями локализованы в участке акватории, находящейся в зоне контакта морских вод с речными в районе дельты Дуная (29,3 г/т) и Днепровского желоба – узкой полосе на уровне Тилигульского лимана (18,9 г/т).

При сравнительном анализе содержаний As в Каркинитско-Тендровской зоне песчано-детритовых отложений и илистых ракушечников, мы пришли к выводу, что концентрация As в поверхностном слое осадков за последние десятилетия значительно уменьшилась, перепад значений достигает одного порядка (от более чем 10 до 1 г/т). Это, вероятно, связано с активным процессом взмучивания и переноса верхнего слоя донных осадков, который происходил в период интенсивного донного траления в этом районе.

Кобальт (Co). *МАКЭС.* Повышеные концентрации Co приурочены к прибрежным районам шельфа. Основными процессами, обусловливающими межфазовое перераспределение Co на границе река – море являются: выпадение основного количества взвешенного Co в осадок, переход части сорбованной на взвеси формы в раствор и активное извлечение биосом из взвеси (интенсивность миграции Co ниже интенсивности его биологического круговорота в 10 раз [8]).

По данным работы [10] происходит повышение содержания Co в растворе в морской воде, по данным работы [4] – остается на том же уровне. Для акватории СЗ шельфа среднее содержание Co в растворе гидрофронтов рек составляет 0,5–0,6 мкг/л, при среднем по Черному морю – 0,5 мкг/л.

В акватории шельфа участки значительных превышений концентраций Co в воде расположены, главным образом, в районе сбросных каналов прибрежных мелиоративных систем. Многоразовые превышения ПДК Co наблюдаются в Джарылгачском, Перекопском заливах, угловой части Каркинитского залива [6]. Содержанию Co свойственны значительные сезонные колебания и локализованность зон максимальных концентраций к участкам сбросов, что подтверждает техногенную природу источников поступления. В табл. 3.1.5 представлены средние значения концентраций Co в МАКЭС заливов – приемников сбросных вод в 1989 г.

Другие участки акватории, где наблюдаются значительные превышения Co в воде, по данным государственных мониторинговых наблюдений – акватории портов и места скопления плавсредств (акватории Одесского, Севастопольского портов, якорные стоянки на оз.Донузлав).

МГЭС. По фоновому содержанию в донных осадках Co значительно отличается от других тяжелых металлов – концентрация элемента почти не зависит от вещественно-генетических типов вмещающих донных отложений (при том, что по литературным данным коэффициент седиментационной концентрации в глинистых илах в десять раз превышает карбонатные).

ТАБЛИЦА 3.1.5

Залив	Среднее значение концентраций Co, мкг/л в межсезонье		
	Весна	Лето	Осень
Тендровский	51	20	18
Каланчакский	34	20	15
Каркинитский (район с. Большевик)	33	15	20
Каркинитский (район с. Устричное)	40	0	60
Джарылгачский (восточная часть)	21	18	10
Джарылгачский (западная часть)	28	42	38
Каржинский	20	11	10
Григорьевский	29	53	23

Фоновый уровень Co в современных донных отложениях Черного моря (на натуральный осадок) по данным работ [4,7] составляет, г/т: пески и ракушечники – 8 (13), алевриты – 11, глинистые илы – 12, глинисто-карбонатные илы – 16, карбонатно-глинистые илы – 16.

Превышений содержания элемента во всех вещественно-генетических типах донных отложений участков акватории, где происходит разгрузка сбросных вод оросительных массивов не наблюдается. Средние концентрации Co в МГЭС Джарылгачского залива (1991 г.), приведены ниже.

Месяц	Участок	Концентрация Co, г/т
Июнь	Центральный	1,8
Октябрь	Центральный	1,8
Июнь	Восточный	3,2
Октябрь	Восточный	2,5
Июнь	Западный	5,3
Октябрь	Западный	2,6

Активный рост концентраций Co в верхнем слое донных осадков имеет место только в Тендровско-Каркинитском районе и в центральной части шельфа (районы поднятий Штормовое и Архангельского) в связи с заилением участка дна площадью 3000 км^2. Это связано с ранее имевшим место донным траловым промыслом и дампингом [22] и происходит в пределах полей развития ракушечников и песчано-детритовых отложений, где содержание Co в 1,5 раза превышает фон по району.

По данным работы [22] среднее содержание в осадках района поднятий Штормовое и Архангельского составляет, в г/т: незаиленные осадки – 7,1; наилок – 11,4. Среднее содержание в осадках Каркинитско-Тендровского района: фон – 7,4; наилок – 8,7. Содержание Co в незаиленных отложениях в целом соответствует нашим данным по фоновой концентрации кобальта (ракушечники – 8 г/т). При допущении, что источник загрязнения действительно техногенное

взмучивание илов на соседних участках шельфа с дальнейшим переносом и седиментацией в районы дна с другими типами грунтов, загрязнение сводится к переслаиванию природных отложений одного типа другим, со своим фоном элемента (11–12 г/т).

Цинк(Zn). *МАКЭС.* Среднее содержание Zn в воде на 1999 г. составляло 35,6 мкг/л, при минимальном 2,9 и максимальном 145 мкг/л [4]. В морской взвеси Zn тяготеет к терригенной составляющей [10], максимальной концентрации свойственна гранулометрическая фракция 0,001 мм [32].

Содержание Zn как в поверхностных, так и в придонных водах часто превышает ПДК. Максимальные концентрации отмечаются на шельфе Крымского полуострова – 167 мкг/л и Керченского пролива – 157 мкг/л. Кроме того, высокое содержание Zn наблюдается на СЗ шельфе до 150 мкг/л в поверхностных водах и 242 – в придонных).

Цинк является «универсальным загрязнителем», входящим в состав техногенных потоков почти всех источников. Он по общему объему превосходит поступления других тяжелых металлов. В связи с этим, участки антропогенного поступления Zn в акваторию хорошо выделяются повышеным содержанием Zn в воде, а для периодичных источников прослеживаются сезонные изменения. Значительные концентрации Zn наблюдаются в районах сброса вод с полей орошения в Тендровском, Джарылгачском заливах и прибрежных участках восточной части Каркинитского залива (1989 г., табл. 3.1.6). Хорошо прослеживается сезонная динамика, подчеркивающая техногенное происхождение Zn – в вегетационный период отмечается максимальное его содержание.

В Перекопском заливе содержание Zn также имеет многоразовое превышение фона [6]. Сезонные колебания, обусловленные поступлением Zn с рисовых полей, приравниваются к годичным поступлениям его с Армянско-Красноперекопского промышленного узла и транспортных магистралей.

В бухтах Тарханкута концентрация Zn в воде незначительна, но превышает фоновые значения [6] в среднем в 1,5–2 раза.

На фоновых станциях Донузлава содержание Zn составляет 60–70 мкг/л [33,34], что связано со значительным скоплением плавсредств (военного назначения) и, в незначительной степени, поступлением сточных вод с хозяйственных комплексов в верховьях озера.

ТАБЛИЦА 3.1.6

Сезон	Средняя концентрация Zn, мкг/л в водной среде МАКЭС, по районам				
	Каланчакский	Каржинский	Джарылгачский	Тендровский	Каркинитский
Весна	11	1	6	1	1
Лето	85	86	105	70	34
Осень	0	0	4	0	0

Активно поступает Zn в акваторию в пределах г. Евпатория, что связано как с аэрозольным привносом, так и неудовлетворительной работой канализационной сети – коммунальные очисные сооружения относительно Zn малоэффективны. Содержание его в сточных водах г. Евпатории до очистки составляет 80–158, после очистки 53–115 г/т [36].

Интенсивное использование ядохимикатов на сельхозугодьях в пределах Альминской долины влияет на содержание Zn в водах рек бассейна Каламитского залива – превышение фонового уровня в вегетационный период составляет 4–5 раз [6,34].

Наличие зон повышенных концентраций в пределах береговой линии Днепровский лиман – дельта Дуная соответствует расположению на побережье основных источников поступления Zn. По расположению источников схема поступления Zn повторяет схему поступления Cu.

По периодическим внутригодовым повышениям содержания Zn выделяются участки акватории в пределах береговых структур: Березанский лиман; зона от с. Дальник до с. Затока; участок акватории от оз. Сасык включительно до дельты Дуная. Повышение концентраций в водах акватории имеет мозаичный характер, а по максимальным показателям соответсвует временному периоду со второй половины апреля по июль.

Постоянному влиянию техногенных потоков подвержены акватории урбанизованных и промышленных центров – Очакова, Южного, Одессы, Ильичевска, а также участок акватории в районе с. Затока.

По площадному распределению крупными зонами превышений фоновых концентраций Zn в воде моря являются: северная часть Одесского залива по границе Кинбурнская коса – Ильичевск; прибрежный участок на уровне Днестровский лиман – дельта Дуная; угловая часть Каркинитского залива. Влияние гидродинамического фактора проявлено «стягиванием» загрязненного участка к уровню дельты Дуная с одновременным расширением его в юго-восточном направлении.

МГЭС. Уверенно выделяются площадные участки донных отложений, где содержание Zn значительно превышает природные концентрации: 1. Донные осадки авандельты Дуная и района о. Змеиный [13]. 2. Участок Одесса – Днепровский лиман, где для Zn наблюдается 2–3 кратное превышение геохимического фона [13,15,16], включая Одесскую банку, Ильичевское поднятие (максимумы достигают 104,6 г/т), Днепровский желоб (максимальное содержание – 477,5 г/т). 3. В пределах Тендровско-Каркинитского района и центральной части СЗ шельфа содержание Zn превышает в 1,5–2 раза фоновые значения [13,22]. 4. Районы дноуглубительных работ – порты Усть-Дунайск, Ильичевск, Одесса, Южный и соответствующие свалки [17]. Превышения содержания Zn носят локальный характер их значения обычно в 3–5 раз превышают фоновые, но по данным работы [3] могут превышать и в 100 раз.

Кадмий (Cd). *МАКЭС.* В начале 90-х годов XX ст. содержание Cd в акватории СЗ шельфа, по данным единичных анализов [4], достигало 1,5 мкг/л. В

период экономического кризиса концентрация Cd в воде была ниже границы определения, что указывает на его связь с выбросами индустриальных источников. По данным работы [27], в 1997 – 2000 гг. вновь выявлен Cd в водах черноморского шельфа Украины, однако его концентрация значительно ниже ПДК.

Активное влияние на акваторию сельскохозяйственных угодий подтверждают данные о поступлении Cd в составе сбросных вод массивов орошения – максимальные содержания соответствуют периоду вегетации.

Характерная черта элемента – тесная связь с биотической составляющей. Кадмий активно поглощается организмами моря, хотя накопление по трофическим цепям не наблюдается. Наиболее интенсивно Cd аккумулируется моллюсками [3,20]. Отмечаются две особенности биологической миграции Cd: концентрирование отдельными видами животных (в тканях моллюсков содержится до 100 г/т элемента [26]) и перевод Cd бентосными организмами в процессе жизнедеятельности с водного раствора в донные отложения [20].

Максимальные концентрации Cd в воде определены в Одесском заливе (1,5–1,6 мкг/л) и Керченском проливе (0,25–0,29 мкг/л).

Из участков донных отложений акватории, на которых наблюдается некоторое превышение концентраций Cd следует отметить: 1. Одесский залив – отдельные точки с превышением концентрации Cd в осадках отмечаются на Ильичевском поднятии (при среднем содержании <0,4 г/т максимум составляет 1,0 г/т), Днепровском желобе (соответственно <0,4 и 3,5 г/т [16]). Повышенные концентрации обязаны таким факторам, как поступление Cd в составе речных вод и содержание детритового материала в донных отложениях. 2. Участки акватории, куда происходит сброс пресных вод с полей орошения. Содержание Cd в донных отложениях Джарылгачского залива (по данным на 1991 г.) в верхнем слое осадков составляет от 0,44 до 0,73 г/т, максимальные значения соответствуют летне-осеннему периоду, что подтверждает сезонную природу поступления Cd в акваторию в связи с хозяйственной деятельностью.

МГЭС. Максимальные концентрации Cd фиксируются в акваториях портов, что связано, очевидно, как с поступлением специфических веществ из судов, так и привносом Cd на участках передвижения сыпучих материалов – в районе причала по перегрузке фосфоритов (порт Южный) превышение Cd в осадках относительно фона составляет 13 раз (фосфориты, поступающие с Ближнего востока содержат до 75 г/т Cd) [17].

Ртуть (Hg). *МАКЭС.* Ртуть активно мигрирует в воде [19]. Она существует в водной среде в двухвалентном состоянии (почти всегда), хорошо растворима в углеводородах, реагирует с кислородом и неметаллами, образует очень стойкие связи с органическими соединениями. Органическое вещество связывает 60 % растворимой Hg в прибрежных водах [37]. При поступлении в море с речными и промышленными водами, адсорбированные тяжелые металлы переходят в воду в связи с образованием комплексов [37], а Hg, поступающая в морскую среду, адсорбируется на взвесях и осаждается на дно [38].

Период максимального загрязнения акватории СЗ шельфа составлял 5 лет (с 1985 по 1990 гг.). Пик загрязнения приходится на 1988 г. Из данных табл. 3.1.7 видно сезонное распределение концентраций Hg в акватории: весной среднее содержание взвешенной Hg превышает таковое в летний период в 2 раза в поверхностном и в 3 раза – в придонном слоях воды. Среднее содержание Hg в поверхностных и придонных водах находится на уровне фоновых значений, составляя 0,043 мкг/л.

По наибольшему загрязнению вод целесообразно выделить несколько участков акватории: Прикрымский район (южнее Севастополя и Кацивели) – содержание 0,40 мкг/л. Одесский залив, максимальные концентрации в мае 1988 г. – 25 мкг/л [39]. Устьевая часть и авандельта Дуная, Придунайский район. Содержание Hg на 1988 г. – до 4,8 мкг/л, максимумы – на протяжении весенне-летнего сезона. Средняя концентрация в последующем для этого района – 2,1 мкг/л (поверхностный слой) и 1,5 – придонный слой. Участок авандельты по содержанию растворенной Hg в 1,5–2 раза, а взвешенных форм в 2–5 раз превышает центральные части моря. По данным работы [34], среднее содержание Hg в Придунайском районе составляет 0,3 мг/кг, максимальное – 0,413 мк/кг. В результате трансформации вод в зоне гидрофронта, концентрация взвешенной Hg уменьшилась на 76–95 %, общей – на 45–60 %. Содержание Hg в водах мест базирования плавсредств на оз. Донузлав составляет более 0,3 мкг/л в Севастопольской бухте фиксируется средневзвешенная концентрация для вод шельфа.

Накопление в портах, кроме сбросов специфических загрязнений с военных объектов и поступления в составе сточных вод, обусловливается тем, что такие виды грузов, как уголь и нефть имеют повышенное содержание Hg [31]. Также ртуть входит в состав красок для судов [12].

ТАБЛИЦА 3.1.7

Месяц	Содержание лабильной формы Hg, мкг/л в водной среде МАКЭС на станциях							
	1	6	7	8	13	14	16	17
Январь	0,02	0,04	0,04	0,0	–	–	–	–
Февраль	0,02	–	–	–	–	–	–	–
Март	–	0,1	–	–	–	–	–	–
Апрель	–	0,07	0,26	0,35	–	–	–	–
Май	0,2	0,19	0,63	0,04	–	–	–	–
Июнь	0,2	0,2	0,03	–	–	–	–	–
Июль	0	0,1	0,2	–	–	–	–	–
Август	0,26	–	0,14	0,14	0,14	–	–	–
Сентябрь	0	0	0,23	0,05	–	–	–	–
Октябрь	0,07	0,03	0,04	0,04	–	0,08	–	–
Ноябрь	–	–	0,03	0,08	0,04	0,07	0,23	0,23
Декабрь	–	–	0,05	0,02	–	–	0,01	0,02

МГЄС. Распределение Hg в донных осадках в значительной мере зависит от специфических особенностей ее распространения. В речной воде ее концентрации ниже, чем в морской, Hg активно поглощается организмами моря [20]. Фито- и зоопланктон аккумулируют Hg в диапазоне 40–3800 мкг/кг сухого вещества, причем макрофиты концентрируют ее актвнее, чем полихеты и ракообразные [3].

Своеобразное влияние оказывает на перераспределение жидкой и твердой фаз Hg биологический тип геохимических барьеров. Бентосные организмы, интенсивно поглощая Hg, переводят ее из твердой в жидкую фазу, что вообще не типично для донных отложений [14]. Малотоксичная как металл, Hg перерабатывается бентосными бактериями в высокотоксическую метилртуть. Таким образом, загрязненные донные отложения становятся источником вторичного загрязнения вод акватории [18,40]. В ряду концентрации морской биотой металлов организмы располагаются так: <моллюски < бентосные растения < планктонные организмы. На интенсивность поглощения биотой влияют температура и соленость воды.

Концентрация Hg в донных отложениях акватории изменяется от 0,03 до 1,32 г/т [26], коррелируясь с содержанием $C_{орг}$ и пелитовой фракции. По данным работы [28], геохимический фон СЗ шельфа составляет 0,4 г/т. Трансформация форм Hg в процессе диагенеза донных отложений в условиях эвтрофирования прибрежных вод – потенциальный источник вторичного загрязнения вод наиболее токсичными соединениями органической Hg.

Из районов интенсивного накопления Hg в донных осадках, необходимо отметить: 1.Зону гидрофронта дунайских вод, донные отложения авандельты Дуная. Концентрация Hg здесь в несколько раз превышает фоновые значения. По исследованиям [15], концентрации в этом районе несколько ниже, составляют 1,5 фонового значения. 2. Районы дноуглубления – порты Усть-Дунайск, Ильичевск, Одесса, Южный; свалки – Ильичевская, Дунайская [17], здесь превышения Hg над фоновыми значениями – 4 раза. Нефтегавань Одесского порта – максимальные превышения Hg [17]. По данным работы [13], Hg загрязнены донные осадки в районе о. Змеиный, Днепровского желоба, Одесской и Каркинитской котловин.

Таковы основные закономерности распределения наиболее распространенных тяжелых металлов в компонентах морской и геологической сред.

Определенный интерес представляет анализ динамики тяжелых металлов в донных осадках стационарных платформ буровых установок (СПБУ) и добычных морских стационарных платформ (МСП) в компонентах МГЭС и МАКЭС. Пробы поверхностных осадков отбирали до бурения скважин и после бурения (в одних и тех же точках), а также в процессе мониторинга эксплуатационных МСП. Расположение площадей и геохимических станций показано на рис. 3.1.3, результаты анализа приведены в табл. 3.1.8, 3.1.9.

В целом, концентрации исследованных металлов не выходят за пределы значений, известных для СЗ шельфа. В большинстве случаев содержания тяже-

ТАБЛИЦА 3.1.8

Статистический параметр	Содержание металлов, мк/кг в МГЭС районов буровых работ				
	Hg	Cr	Cu	Pb	Cd
	Южно-Бортовая (1998 г.)				
Минимальное содержание металла	0,02 0,03	47,40 44,40	9,70 18,10	21,00 14,70	0,93 0.51
Максимальное » »	0,04 0,06	103,70 56,60	26,80 20,50	28,40 19,20	1,39 0,69
Среднее » »	0,03 0,05	76,76 49,66	20,78 19,60	24,02 17,24	1,13 0,60
Коэффициент вариации концентраций, %	23,32 20,24	34,10 10,84	32,25 4,81	12,28 11,96	18,39 12,80
Стандартное отклонение	0,01 0,01	26,18 5,38	6,70 0,94	2,95 2,06	0,21 0,08
	Олимпийская № 400 (2000 г.)				
Минимальное содержание металла	0,03 0,06	80,50 22,50	19,40 19,50	25,70 15,50	0,01 0,14
Максимальное » »	0,05 0,12	90,80 62,47	28,10 24,80	32,70 20,60	0,04 0,32
Среднее » »	0,04 0,08	85,96 39,67	22,80 22,14	28,60 18,14	0,03 0,19
Коэффициент вариации концентраций, %	18,27 30,33	5,32 40,53	15,64 9,82	10,15 13,36	35,69 39,03
Стандартное отклонение	0,007 0,02	4,57 16,08	3,57 2,17	2,90 2,42	0,01 0,07
	Олимпийская № 1 (2001 г.)				
Минимальное содержание металла	0,07 0,04	19,61 30,00	17,50 20,00	12,70 5,00	0,08 0,08
Максимальное » »	0,45 0,30	70,75 34,00	22,60 22,00	21,20 22,00	0,16 0,17
Среднее » »	0,26 0,11	44,59 32,60	20,06 21,20	16,30 15,20	0,11 0,11
Коэффициент вариации концентраций, %	63,50 95,17	42,14 5,13	10,79 3,95	24,17 42,48	29,21 31,85
Стандартное отклонение	0,16 0,11	18,79 1,67	2,16 0,84	3,94 6,46	0,03 0,04
	Безымянная (1998 г.)				
Среднее содержание металла	0,60 0,02	8,45 26,80	20,40 5,18	20,00 8,85	0,11 0,86

Примечание. В числителе приведены данные до бурения скважин, в знаменателе – после бурения.

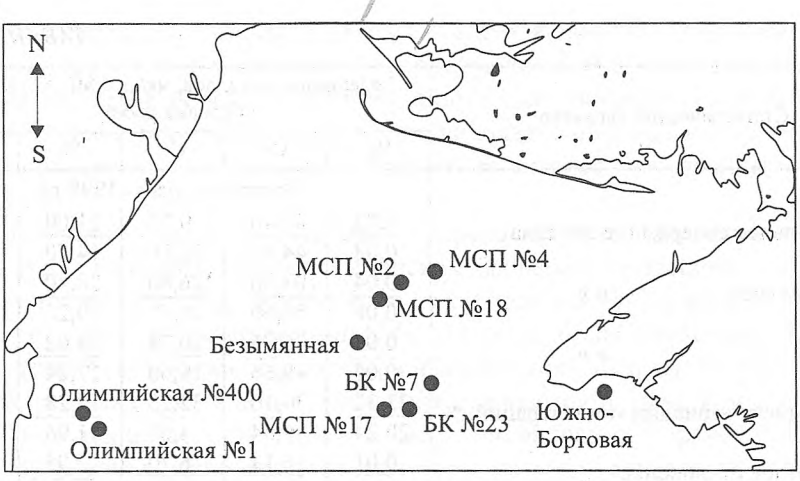


РИС. 3.1.3. Расположение СПБУ и МСП в районах геологоразведочных и добычных работ

лых металлов не превышают ПДК в осадках. Исключение составляют Hg (2 ПДК на Безымянной до бурения) и Cd (1,4 ПДК на Южно-Бортовой до бурения и 1 ПДК на Безымянной после бурения). По отношению к кларку литосферы (по А.П. Виноградову, 1962 г.), как всеобщему эквиваленту, концентрация Cu повсеместно ниже кларка, Cr – равна или меньше кларкового уровня, Pb – несколько больше или близка к таковому. Существенные отличия от кларка Hg и Cd отражают литологический контроль геохимических условий осадконакопления. С увеличением карбонатности (раковинного материала) возрастают содержания в осадках Cd и снижаются Hg и, соответственно, наоборот.

Анализ концентраций тяжелых металлов в осадках до и после бурения свидетельствует об отсутствии однонаправленного тренда в развитии ситуации. Учитывая, что разность концентраций в пределах одного стандартного отклонения является флуктуацией фона, после бурения скважин не изменился уровень содержаний Cu на всех площадях, за исключением Безымянной, Pb и Cd на Олимпийской-1. Возросли после выполнения буровых работ концентрации Hg, в раз: на Южно-Бортовой площади – 1,9, Олимпийской-400 – 2,2, Cr – на Безымянной – 3,2, Cd – на Олимпийской-400 – 7,3, и Безымянной – 7,8. Однако, в большинстве случаев содержания элементов в поверхностном осадке после выполнения геологоразведочных работ уменьшаются в 2,3–3,3 раза (Cu и Hg на Безымянной, Cr – на всех площадях, за исключением Безымянной, Cd – на Южно-Бортовой, Pb – на Южно-Бортовой, Олимпийской-400 и Безымянной). Кроме изменения концентраций, отмечаются возмущения, либо наоборот, выравнивания геохимических полей, фиксируемые по коэффициенту вариации содержаний.

Таким образом, определенной закономерности в динамике тяжелых металлов при выполнении буровых работ в акватории СЗ шельфа Черного моря не

ТАБЛИЦА 3.1.9

Средняя концентрация металлов, мг/кг в МГЭС в районах размещения МСП

МСП	Год	Hg	Pb	Cd	МСП	Год	Hg	Pb	Cd
Голицыно	1991	0,14	124,60*	1,09*	Штормовая	1991	0,02	17,90	0,18
(МСП № 4)	1992	0,05	22,60	0,03	(МСП № 17)	1992	0,01	46,20	0,09
	1993	0,39*	26,40	0,46		1993	0,02	12,20	0,20
	1994	0,01	11,60	0,11		1994	0,01	9,10	0,14
	2002	0,01	18,80	0,04		1995	18,20	0,33	0,01
						1996	8,30	0,40	0,08
Голицыно	1991	0,18	21,20	1,10*		2002	0,05	6,70	0,06
(МСП № 2)	1992	0,08	24,20	0,04					
	1993	0,24	6,50	0,09	Штормовая	1994	0,03	13,30	0,16
	1994	0,02	6,20	0,06	(БК № 23)	1995	0,01	9,80	0,06
	2002	0,07	5,50	0,05		1996	0,10	16,60	0,06
						2002	0,05	6,10	0,07
Голицыно	1991	0,15	46,90	0,94					
(МСП № 18)	1992	0,05	28,40	0,01	Архангельская	1991	42,40	0,11	0,02
	1993	0,11	10,40	0,11	(БК № 7)	1992	30,10	0,15	0,03
	1995	0,01	8,10	0,04		1993	0,08	9,10	0,35
	1996	0,10	30,60	0,30		1995	0,00	6,90	0,09
	2002	0,06	4,60	0,06		1996	0,04	12,0	0,03
						2002	0,04	7,70	0,10
ПДК		0,3	85	0,8	ПДК		0,3	85	0,8

* Значения, превышающие ПДК.

обнаружено, что свидетельствует о влиянии их не как загрязняющего фактора, а, очевидно, как дестабилизирующего.

Данные табл. 3.1.9 свидетельствуют о непериодичном колебании концентраций Hg, Pb и Cd в осадках. Отмечаются некоторые тенденции динамики Pb и Cd на отдельных площадях. В частности, на протяжении 1991–1996 гг. была тенденция к снижению концентрации Pb в районе МСП Голицыно-4; тенденция к росту кадмия отмечена только в районе Штормовой-17 (за счет увеличения карбонатности осадков), а в районах Голицыно-2, Штормовой-23, Архангельской-7, наоборот, за счет заиливания осадков содержание Cd имело устойчивую тенденцию к снижению. Следует отметить характерную для всей исследованной акватории общую закономерность – снижение во времени (на один порядок в течение последних лет) в придонном слое вод концентраций Hg. Возможно это связано с эксплуатацией МСП, т. к. при выработке месторождений происходит постепенное снижение пластовых давлений флюида и уменьшение эманаций из недр подвижного диметила ртути. При этом в донных осадках динамика валовой Hg характеризуется статичностью, либо флуктуационными колебаниями.

Наличие вышеуказанных закономерностей геохимической эволюции этой части акватории СЗ шельфа Черного моря подтвердили исследования 2002 г. В воде и донных осадках продолжается ощутимое снижение концентраций наблюдаемых элементов, что отражает региональную тенденцию последних лет.

Причинами нестационарности геохимических полей металлов в пространстве и времени являются техногенез, естественные литодинамические, биогеохимические и эндогенные процессы, гипоксии и др. Снижение концентраций возможно в результате уменьшения приходной части баланса элементов (включающего для данной акватории, в первую очередь, техногенное загрязнение и поступление из недр), либо увеличение в данной части акватории расходной части (гипоксийное, биохимическое выщелачивание и миграция). Роль и вклад каждого фактора необходимо определить будущими исследованиями.

Региональное улучшение экологической ситуации на протяжении последних лет позволило ряду исследователей [28] отнести район расположения МСП к фоновым участкам СЗ шельфа Черного моря, где антропогенное влияние не проявлено, либо минимально. Отсутствие отрицательного тренда в развитии экологической ситуации на протяжении последних лет позволяет нам присоединиться к этому мнению. В отсутствие аварийных ситуаций, сопровождаемых залповыми выбросами загрязняющих веществ, геоэкологическая эволюция этой части акватории Черного моря определяется преимущественно естественно-историческими, природными процессами.

Весьма интересной в эколого-геохимическом аспекте является акватория придунайского шельфа, детально изученная нами в 1997 г. (осенний период) и 1998 г. (зимний период).

Особенности дифференциации элементов в осадках придунайского шельфа определяются наличием в прибрежной зоне комплексного геохимического барьера река – море, пространственно локализованного в аванделъте Дуная [43,44]. Граница барьерной зоны устанавливается по распределению аванделътовых фаций, которые прослеживаются до глубин 10–24 м. Соответственно геохимической зональности отмечаются существенные расхождения в параметрах распределения абсолютных концентраций элементов в шельфовой геохимической и барьерной зонах аванделъты (табл. 3.1.10). Концентрации большинства элементов в илах аванделъты превышают их концентрации в осадках взморья в 1,6–9 раз, As и Be – в 20 раз, Nb – в 40 раз, Co и Bi – в 167 раз. При этом Ca и Na в осадках аванделъты меньше, чем в 5 раз, Cd – в 1,3 раза. Лантан присутствует в равных количествах в обоих геохимических таксонах.

Расчет параметров, выполненный по результатам сентябрьской съемки 1997 г. и декабрьской съемки 1998 г. показал их практически полное сходство. Средние значения элементов за декабрь находились в пределах флуктуаций среднего за сентябрь для соответствующей зоны (значительно меньше $C_ф$+1/2 S). Существенные отличия выявлены только для хрома (по данным зимней съемки его концентрации в осадках были в 5,6 – 5,9 раз ниже, чем при осенней), и мышьяка, со-

ТАБЛИЦА 3.1.10

Элемент	Кларк литосферы, мг/кг (Виноградов, 1962 г.)	Средняя концентрация металла, мг/кг в геологической среде МГЭС придунайского шельфа	
		Авандельта	Взморье
Hg	0,08	26,20 (315,7)	6,50 (78,3)
Cd	0,13	1,04 (8,0)	1,32 (7,7)
As	1,70	45,30 (26,6)	2,30 (1,4)
Cu	47,00	41,48 (0,9)	7,60 (0,2)
Pb	16,00	29,96 (1,7)	15,40 (1,0)
Ni	58,00	36,60 (0,6)	9,70 (0,2)
Zn	83,00	116,14 (1,4)	17,80 (0,2)
Cr	83,00	136,80 (1,6)	56,60 (0,7)
Mn	1000,00	249,64 (0,2)	64,90 (0,1)
Ba	650,00	455,50 (0,7)	164,30 (0,3)
Mg	1870,00	10567,00 (5,7)	1947,00 (1,0)
Fe	46500,00	35900,00 (0,8)	7473,00 (0,2)
Ca	29600,00	46667,00 (1,6)	280000,00 (9,5)
Si	290000,00	250000,00 (0,9)	90066,70 (0,3)
Na	25000,00	1200,00 (0,05)	6146,70 (0,2)
V	90,00	100,00 (1,1)	11,60 (0,1)
Ti	450000,00	5000,00 (0,01)	737,30 (0,002)
Zr	170,00	106,67 (0,6)	62,50 (0,4)
Ga	19,00	10,00 (0,5)	2,10 (0,1)
La	29,00	25,00 (0,9)	25,30 (0,9)
Y	20,00	15,00 (0,8)	9,50 (0,5)
Yb	0,33	2,00 (6,1)	1,10 (3,3)
Ag	0,07	0,12 (1,7)	0,05 (0,7)
P	930,00	743,00 (0,8)	308,00 (0,3)
B	12,00	63,00 (5,3)	27,70 (2,3)
Al	80500,00	63000,00 (0,8)	23853,30 (0,3)
Be	3,80	1,80 (0,5)	0,09 (0,02)
Co	18,00	16,67 (0,9)	0,10 (0,006)
Mo	1,10	1,30 (1,2)	0,40 (0,4)
Sn	2,50	4,33 (1,7)	0,50 (0,2)
Nb	20,00	12,33 (0,6)	0,30 (0,02)
Bi	0,009	1,670 (185,6)	0,01 (1,1)
Ge	1,40	1,50 (1,1)	0,20 (0,1)
Sc	10,00	8,67 (0,9)	1,00 (0,1)
Li	32,00	25,00 (0,8)	5,00 (0,2)

Примечание. В скобках – кларк концентрации.

держание которого в илах авандельты уменьшилось в 7 раз относительно 1997 г. Причины такой резкой изменчивости концентраций могут быть связаны как с систематической ошибкой лабораторного счета, так и собственно геохимическими факторами и требуют дальнейшего изучения.

Если оценивать содержания элементов в осадках придунайского шельфа относительно кларка, как общепринятого эквивалента (табл. 3.1.10), окажется, что концентрации, близкие кларковым (разница меньше 1 стандартного отклонения) в авандельте формируют 9 элементов (Cu, Zn, Fe, Si, V, La, Y, P, Al), на взморье – 6 элементов (As, Pb, Cr, Mg, La, Ag). Концентрации выше кларковых на всем придунайском шельфе характерны для Hg, Cd, Ca, Yb, B; ниже кларковых – для Ni, Mn, Ba, Na, Ti, Zr, Ga. Кроме того, в авандельте выше кларковых концентрации Ag, Mg, Cr, Pb, As; на взморье ниже кларковых концентрации Cu, Zn, Fe, Si, V, Y, P, Al.

Существует группа элементов, определяемая спектральным приближенно-количественным анализом в осадках взморья на уровне следовых концентраций. Граница определения этих элементов указанным методом практически совпадает с кларком в карбонатных породах по Беусу, 1975 г., (Bi – по Виноградову, 1962 г. в глинистых породах). Собственно поэтому их фоновые значения условно были приняты на уровне указанных кларков (см. табл. 3.1.10). Относительно кларка литосферы по Виноградову, 1962 г., осадки взморья содержат значительно меньшие концентрации всех элементов кроме Bi. В авандельте содержание Co, Mo, Ge, Se, Li приближается к кларковому уровню; Sn, Bi – превышают кларк, концентрации Be и Nb несколько ниже кларковых.

Уровень аномальности элементов оценивался относительно их фоновых значений. Местный геохимический фон рассчитан по смешанной геохимической выборке, учитывающей все разнообразие элементарных супераквальных ландшафтов Дунайского взморья. Заведомо аномальные (барьерные авандельтовые) значения при подсчете фоновых характеристик не учитывались.

Аномалии 1-го рода, выделяемые по критерию $C_ф + 3S$, в шельфовой геохимической зоне образуют 7 элементов с 38 (табл. 3.1.11), в пределах авандельты такие аномалии характерны для 24 элементов. Следует отметить, что концентрирование элементов в авандельте очень слабо определяется их формой миграции. В составе накапливающихся элементов присутствуют равной мерой как аутигенные, так и мигрирующие в форме взвеси и волочения по дну в составе тяжелой фракции терригенного осадка. В частности, из наименее подвижных элементов (согласно классификации Страхова [45]) в авандельте образуют аномалии 1-го рода только Ti и Ge, в то же время, все элементы второй и третьей групп (по той же классификации), мигрирующие в растворах, тонкотерригенной и субколлоидной фракций взвеси тотально выпадают в авандельте. В работе [43] указано, что элементы, переносимые реками преимущественно в растворе, попадая в морскую воду становятся еще более подвижными за счет увеличения pH, происходит частичное освобождение Mo, As, W с взвеси при

ТАБЛИЦА 3.1.11

Критерий аномальности	№ ряда	Аномальность элемента в различных геохимических зонах МГЭС	
		Взморье (шельфовая)	Авандельта
$C_Ф$ + 3S (аномалии 1-го рода)	1	Cu, Pb, Zn, Mo, Nb, Ge, Sc	Hg, As, Cu, Pb, Ni, Zn, Mn, P, Ba, Mg, Be, Fe, Co, Mo, V, Ti, Sn, Nb, Ga, Yb, Bi, Ge, Sc, Li,
$C_Ф$ + 2S	2	Ряд № 1 +As, Cu, Pb, Ni, Zn, Cr, Mn, Ba, Be, Fe, Si, Na, Co, Mo, V, Ti, Sn, Nb, Zr, Ga, La, Yb, Ag, Bi, Sc, Li, P, B	Ряд № 1 + Cr, Si, Zr, B
$C_Ф$ + S	3	Ряд № 1 + ряд №2 + Al, Y, Mg, Cd, Hg	Ряд № 1+ ряд №2 + Y, Ag, Al
Не образуют аномалий	4	Ca	Ca, Na, La, Cd

ТАБЛИЦА 3.1.12

Степень изменчивости элементов	Степень изменчивости геохимических полей элементов			
	МГЭС		МАКЭС	
	Взморье	Авандельта	Поверхностная	Придонная
V = 010 %, абсолютно выдержанные	—	Mg, Be, Si, Na, V, Ti, Ga, La, Y, Yb, Ge, Li, B, Al	—	—
V = 11–50 %, выдержанные	Cd, As, Pb, Ni, Cr, Mn, Ba, Ca, Na, Mo, La, Y, Yb, P	Hg, As, Cu, Pb, Ni, Zn, Cr, Mn, Ba, Fe, Cd, Mo, Co, Sn, Nb, Ca, Zr, Ag, Bi, Sc, P	Pb, Co	Pb, Co, Cu, Cd
V = 51–100 %, плохо выдержанные (изменчивые)	Cu, Zn, Mg, Fe, Si, Zr, Ga, B, Al, Hg	—	Cu, Mn, Cd	Mn
V = 101–200 %, сильно изменчивые	V, Ti, Sn, Ag, Ge, Sc, Li	—	—	—
V > 200 %, очень сильно изменчивые	Be, Co, Nb, Bi	—	—	—

контакте морских вод с речными. Это приводит к относительному увеличению их концентрации по мере отдаления от прибрежных районов. В пределах придунайского шельфа такое явление не зафиксировано, что может быть связано с большей активностью биогеохимических факторов миграции относительно геохимических. Наоборот, в пределах исследованной территории четко проявлен градиент концентрации этих элементов, направленый от шельфовой ее части в сторону авандельты. Вышеуказанное утверждение [43] может быть справедливым для кадмия и лантана, которые концентрируются в мористой части придунайского шельфа. Следует также отметить аккумуляцию молибдена (однако все же в 2 раза меньшую его концентрации в авандельте) в песчаных отложениях Будакской возвышенности, т. е. на значительном удалении от дельты Дуная.

Локализация элементов в пределах авандельты и взморья имеет ряд существенных различий. Подводная часть дельты представляет собой единую крупную контрастную аномалию с выдержанными и абсолютно выдержанными геохимическими полями внутри нее (табл. 3.1.12). Структура геохимического поля шельфовой зоны значительно сложнее. Коэффициент вариации геохимического поля изменяется от 11 до 200 %, что связано с формированием разных типов локальных и площадных аномалий.

Пространственная дифференциация ассоциативных групп элементов в донных отложениях определяется комплексом литодинамических, гидро-геохимических и техногенных факторов. В целом, в пределах шельфовой геохимической зоны относительно местного фона выделяется три области: полиэлементных аномалий, фоновых концентраций, относительно низких концентраций. Ниже приведены формулы полиэлементных полей (интервал 0–5 см).

№ поля по карте	
1	Bi(170), Co(56), Nb(25), Sn(20), V(14), Ti(11), Sc(9), Be(8), Zn(7,4), Mo(6,5), Ga(6,3), Cu(5,9), Ag(4), Mn(3,9), Ni(3,8), Cr, B(2,4), Ba(2,2), Zr, Yb, As(2), Pb, Ge(1,9), Li(1,7), Y(1,5), Hg(1,4) / Sr(34), Cd(1/3)
2	Co(13,3), Ag(10,7), Be, Sn(10), V(3,6), Ti(2,7) / Ba(3,1), Cd(1,3)
3	Bi(150), Nb(100), Sn(40), Zr(37), Co(21), V(11,4), Sc(6,3), Be(6), Cr, Ga(5), Hg(3,7), B(2,4), Yb(2), Ge(1,9), Li, Mn(1,7), Y(1,5), Ba(1,3) / Sr(33,8), Cd(1,7)
4	Zr(18,5), As(1,8) / —
5	— / Ga(16), Ag(15), Yb(10), V(2,8), Ti(2,2)

6	$\frac{\text{Mo(3,2), Cu(2,8), Ni, Cr(2), Hg(1,9), Ba(1,6)}}{\text{Ag(15)}}$	
7	$\frac{\text{Cd(1,2)}}{\text{Ga(16), Ag(15), Yb(10), V(2,8), Ti, B(2,2), Cr(2), Hg(1,8)}}$	
8	$\frac{—}{\text{Ga(16), Yb, Y(10), Zn(4,7), As(3,2), Hg(2,4), Ba(2,2), Ni(2,1), Pb(1,6)}}$	
9	$\frac{\text{Mo(3,2)}}{\text{Yb, Y(10), Zn(4,4), Cu(2,9), Ni(2,1)}}$	
10	$\frac{\text{Zr(2,2), Y(1,2)}}{\text{Zn(2,8), Ba(1,3)}}$	
11	$\frac{\text{Cd(1,2)}}{\text{Hg(1,9), Ag(1,2)}}$	

Примечание. В числителе – элементы рассеивания, в скобках – кр, в знаменателе – элементы накопления, в скобках – кк.

Полиэлементные аномалии прослеживаются в Жебриянской бухте, вокруг о. Змеиный, а также примыкают к авандельте Дуная в южной ее части, сформированной Старостамбульским гирлом. В Жебриянской бухте песчано–глинистые осадки содержат в аномальных концентрациях 18 элементов, среди которых Bi (кк (коэффициент концентрации) 150), Nb (кк 100), Sn (кк 40), Zr (кк 37), Co (кк 21), V (кк 11,4), Sc (кк 6,3), Be (кк 6) Cr, Ga(кк 5), Hg (кк 3,7) и др. Вокруг о. Змеиный в песчано-илистых отложениях определяются слабоконтрастные аномалии Mo (кк 3,2), Cu (кк 2,8), Ni, Cr (кк 2), Hg (кк 1,9), Ba (кк 1,6). Судя по ассоциативной группе, образование аномалии связано как с техногенным поступлением металлов, так и с размывом и гальмиролизом вулканогенно-терригенных толщ основного и кислого составов, слагающих остров. Крупная аномалия примыкает со стороны взморья к южной части авандельты. Осадки с высокими концентрациями Ag (кк 19,7), Co (кк 13,3), Be, Sn (кк 10), V (кк 3,6) и Ti (кк 2,7) представлены илистыми детритовыми карбонат-кварцевыми песками.

Область фоновых концентраций прослеживается на значительной площади к югу от пересыпи оз. Шаганы вдоль всей авандельты. Концентрации, не превышающие фоновые флуктуации, характерны здесь для большинства элементов. Исключение составляют иттрий, бериллий, барий, мышьяк (кк 1,2–1,8), титан и цирконий (кк 2,7–22,0), которые образуют моно- и биэлементные аномалии. Выявляется тесная связь аномалий титана и циркония с геоморфологией дна. Обогащение донных осадков пелитовой фракцией тяжелых минералов, в форме которых преимущественно мигрируют эти элементы, происходит на приподнятых участках дна. Регулярное взмучивание и гравитационное сортирование осадочного материала формируют здесь россыпи титаномагнетита, рутила, циркона и др. Область преобладающего рассеивания элементов (или область относительно низких концентраций) прослеживается параллельно первым двум, завершая ге-

охимическую зональность взморья. Часть элементов образует здесь поля устойчиво низких концентраций. К ним, в первую очередь, относятся Ga (кр (коэффициент рассеивания) 16), Ag (кр 15), Yb, Y (кр 2,8), V (кр 2,8), Ti (кр 2,2). При этом характерно слабое накопление в осадках кадмия (кк 1,2) и молибдена (кк 3,2).

Удельный вес элементов в формировании геохимических полей осадков в авандельте Дуная и на взморье определяется их показателем зональности – отношением количества каждого элемента к сумме всех элементов. Мажоритарные ряды, составленные по уменьшению показателя зональности имеют много общего в обоих геохимических зонах (табл. 3.1.13). Характерно увеличение в той или иной мере удельного веса практически всех элементов (особенно алюмосиликатной составляющей) в геохимическом поле авандельты, при ее уменьшении здесь для Ca, Na и Cd. Корреляционный анализ смешанной геохимической выборки и некоторых геохимических показателей выявил чрезвычайно тесные связи большинства элементов. Парной корреляцией установлено, что сильная положительная связь с уровнем $r > 0,90$ с 19-ю элементами имеют Fe, Ti, Sn, Ga, V; с 18 – Ge, Sc, Co; с 17 – Zn, Mo, Yb; с 16 – Li; с 15 – Mg; с 13 – Cu, Cr; с 11 – Be; с 9 – Nb, Ni; с 6 элементами — Mn. Значительно слабее связи у Pb, Ba, Zr, Y. Лантан не проявляет каких-либо связей (за исключением As, $r = 0,52$).

ТАБЛИЦА 3.1.13

Геохимическая зона	Мажоритарный ряд элементов с показателем зональности ($C_{\phi i}/\Sigma C_{\phi}$)							
	$(n)\times10^{-1}$	$(n)\times10^{-2}$	$(n)\times10^{-3}$	$(n)\times10^{-4}$	$(n)\times10^{-5}$	$(n)\times10^{-6}$	$(n)\times10^{-7}$	$(n)\times10^{-8}$
Авандельта Дуная	Si (6) Al (1,5) Ca (1)	Fe (8,6) Mg (2,5) Ti (1,2)	Na (2,9) P (1,8) Ba (1)	Mn (6,2) Cr (3,3) Zn (2,8) Zr (2,6) V (2,4) B (1,5) As, Cu (1)	Ni (8,8) Pb (7) Hg (6,3) La,Li (6) Y (3,6) Nb (3) Ga (2,4) Sc (2,1) Sn (1)	YB (4,8) Be (4,3) Co, Bi (4) Ge (3,6) Mo (3,1) Cd (2,5)	Ag (3)	
Взморье (шельфовая зона)	Ca (6,8) Si (2,2)	Al (5,5) Fe (1,8) Na (1,4)	Mg (4,7) Ti (1,8)	P(7,5) Ba(4) Mn(1,6) Zr(1,5) Cr(1,4)	B (6,7) La (6,2) Zn (4,3) Pb (3,7) V (2,8) Ni (2,4) Y (2,3) Cu (1,8) Hg (1,6) Li (1,2)	As (5,6) Ga (5,1) Cd (3,2) Yb (2,7) Sc (2,4) Sn (1,2)	Nb (7,3) Ge (4,9) Co, Mo (2,4) Be (2) Ag (1,2)	Bi (2,4)

ТАБЛИЦА 3.1.14

Элемент	Концентрация металлов в водной среде МАКЭС, мкг/л			СКО	Коэффициент вариации, %	Диапазон концентрации металлов, мкг/л в водной среде аквакосистемы Дуная
	минимальная	максимальная	средняя			
Cu	0,3/0,1	2,3/0,87	0,85/0,5	0,51/0,24	60/48	0,09–14,0
Pb	1,1/0,9	6,4/5,0	2,83/2,29	1,05/1,12	37/49	1,0–21,0
Mn	0/0	1,6/2,9	0,63/1,07	0,38/0,68	60/64	44,0–70,0
Cd	0,04/0,09	1,54/0,72	0,53/0,34	0,4/0,17	74/50	нет данных
Co	0,09/0,18	1,07/0,86	0,47/0,53	0,23/0,21	49/40	0,6–1,4

Примечание. В числителе приведены данные для поверхностного слоя водной среды МАКЭС, в знаменателе – для придонного (атомно-абсорбционный анализ, 32 станции).

ТАБЛИЦА 3.1.15

Элемент	Количество наблюдений	Концентрация металлов в мягких тканях мидий, мг/кг сухой массы			СКО	Коэффициент вариации, %
		минимальная	максимальная	средняя		
Hg	13/3	0,05/0,041	0,391/0,124	0,14/0,096	0,09/0,047	64/49
Cd	13/3	0,43/2,37	3,04/3,47	1,11/2,81	0,63/0,58	57/21
Pb	13/3	2,84/5,26	12,00/11,30	6,64/8,27	2,99/3,02	45/37
Zn	13/3	12,20/200,00	246,00/258,00	139,09/229,33	60,25/29,00	43/13
Cu	13/3	4,20/12,80	17,40/24,50	10,15/20,27	3,71/6,49	37/32
Ni	13/3	0,00/6,04	23,80/16,20	10,28/10,38	5,76/5,24	56/50
As	13/3	4,70/18,00	17,50/25,80	8,45/22,50	3,35/4,04	40/18

Примечание. В числителе приведены данные исследований за сентябрь 1997 г., в знаменателе – данные за декабрь 1998 г.

Сильная отрицательная корреляция ($r > -0,90$) проявлена у стронция с 17-ю элементами. С глинистой фракцией осадка ассоциировано большинство элементов. Исключение составляют Pb, Ba, La, Ag. Наиболее тесную связь ($r > 0,95$) с глинами проявляют Fe, V, Ti, Sn, Nb, Yb, Bi, Ge, Sc и Li. Причем с тяжелой фракцией глин связаны Cr, Ti, Sn, Nb, Zr, Yb, Bi, Ge, Li ($r > 0,70$). Очевидно, большинство этих элементов являются минералообразующими для тяжелых минералов пелитовой фракции, или находятся в них как изоморфная примесь. С гидроксидами железа достоверную положительную корреляцию ($r > 0,60$) имеют Cu, Co, Zn, Mg, Be, которые сорбируются и соосаждаются при коагуляции FeOH. Значительно сильнее связи элементов с органическими коллоидами. Наиболее тесную связь с $r > 0,90$ с органикой проявляют Cu, Co, Zn, Sc, несколько слабее связи

(0,80 < r < 0,90) с органикой имеют Fe, Ni, V, Ti, Sn, Mg, Be, Ga, Yb, Bi, Ge, Li. Стронций единственный проявляет достоверную отрицательную корреляцию с органическим веществом, r = – 0,84.

В пределах геохимического сопряжения вода — гидробионты — донные осадки унаследованности пространственной зональности ассоциативных групп элементов не наблюдается. Распределение металлов в воде и в мягких тканях мидий отличается равномерностью (табл. 3.1.14, 3.1.15).

Для осеннего периода 1997 г. в разрезе водной толщи вариации геохимических полей наименее значительны в придонном слое воды. Для исследованных тяжелых металлов (Cu, Pb, Mn, Cd) характерно инверсионное распределение концентраций в области Дунайского гидрофронта и на взморье. В частности, максимальные концентрации Mn и Cd характерны для придонных вод авандельты и поверхностных вод взморья, а Cu и Pb – соответственно для поверхностных вод авандельты и придонных вод взморья.

При подобном площадном развитии, совершенно иное распределение статистических параметров содержания металлов в воде (зима 1998 г.). В частности, коэффициент вариации концентраций значительно выше в придонном слое воды, чем в поверхностном. На поверхности моря относительно придонного слоя больше кадмия и хрома как возле гирл, так и на взморье, свинца — в районе авандельты, меди и цинка — на взморье. Наоборот, более обогащен придонный слой относительно поверхностного ртутью как у гирл, так и на взморье, свинцом — на взморье, медью и цинком — в придельтовой акватории. Если сравнивать средние значения концентраций элементов в авандельте и на взморье в пределах стандартных горизонтов воды, то выявится, что в придонных водах возле гирл больше кадмия.

ГЛАВА 2

Загрязнение МАКЭС и МГЭС шельфа Украины органическими и органо-минеральными соединениями

Органические и органо-минеральные соединения техногенного и техногенно-природного происхождения имеют широкое распространение и существенно загрязняют МАКЭС и МГЭС черноморского шельфа Украины. Среди этих соединений наиболее токсичны пестициды и другие хлорорганические соединения, нефтяные углеводороды, СПАВ и фенолы. Загрязнение МГЭС шельфа Черного моря перечисленными соединениями представляет проблему, решение которой невозможно без всестороннего изучения пространственно-временных распределений концентраций перечисленных загрязнителей и анализа их миграции в биосферных циклах. В этой связи важно как накопление и обработка больших массивов данных широкого временного диапазона, так и анализ информации о загрязнении всех компонентов МГЭС в дискретных срезах [46].

Пестициды. Согласно опубликованным данным, в Украине применяется до 250 видов различных пестицидов. На сельскохозяйственные угодья страны за послевоенный период поступило более 1 млн т различных ядохимикатов, причем, если на 1960 г. приходилось 4,5 тыс. т вещества, то в 90-е годы XX ст. эта цифра выросла до 90 тыс. т. Данные годового использования пестицидов на территориях приморских областей Украины, включая граничащие с Азовским морем, представлены в табл. 3.2.1 [47].

Активное использование пестицидов в приморских областях привело к постепенному их накоплению в грунтах и водоемах приморских территорий и, естественно, к увеличению их выноса в акваторию Черного моря.

Пестициды, из-за специфики их использования, являются своеобразным «маркером» определенного типа антропогенной нагрузки на МГЭС. Обусловливается это тем, что использование пестицидов ограничено только одной областью человеческой деятельности – сельським хозяйством. Наиболее активная миграция их в подсистемах экосферы происходит в определен-

ное время, на известных участках, так или иначе связанных с сельскохозяйственной деятельностью человека. Интенсивность поступления пестицидов в подсистемы экосферы, в т. ч. морские, во многом зависит от периода активизации этой деятельности, используемых технологий, в частности, режима работы сети сбросовых каналов, а также от особенностей гидрометеорологической обстановки в регионе.

Поступление пестицидов в акваторию Черного моря осуществляется несколькими путями, которые так или иначе проходят через соответствующие МАЭС и МАКЭС. Таким образом, в течение некоторых временных интервалов пестициды являются компонентами МАЭС, МАКЭС, а затем, претерпев определенную трансформацию, становятся компонентами МГЭС.

Как показали исследования, главными поставщиками пестицидов в акваторию Черного моря и ее экосистемы являются поверхностный и подземный стоки с территорий орошаемых площадей, речной сток, аэральный перенос в составе атмосферных осадков и аэрозолей.

Ежегодное поступление пестицидов в экосистему Черного моря с поверхностным стоком рек составляет примерно 3,44 т.

Данные по колличествам ДДТ, ГХЦГ и их изомеров, альдрина, гептахлора, трефлана в различных компонентах морских подсистем рассматриваемой части пространства экосферы показывают, что содержание перечисленных пестицидов в них не превышает ПДК (рис 3.2.1). Проведенные исследования не выявили также определенных сезонных зависимостей в распределении этих загрязнителей. Сравнение содержания пестицидов в различных компонентах МАЭС, МАКЭС и МГЭС показало, в частности, что накопление рассматриваемых загрязнителей в твердой части (створках) современных моллюсков практически не происходит. Минимальное содержание пестицидов обнаружено в аэрозольном компоненте МАЭС, что может объясняться как отсутствием их

ТАБЛИЦА 3.2.1

Область	Количество внесенных пестицидов, т				
	Всего	в том числе			
		инсектициды	фунгициды	гербициды	другие
Донецкая	3925,1	1637,7	932,2	936,0	419,2
Запорожская	3492,0	1654,0	836,8	842,4	176,8
Республика Крым	10867,4	1638,2	7758,3	1233,8	237,1
Николаевская	3295,7	1222,6	792,9	1101,6	178,6
Одесская	6165,5	2019,2	2219,7	1597,2	329,4
Херсонская	4707,8	1759,7	1410,0	1158,4	379,7
Всего	32453,3	9931,4	13949,9	6869,4	1720,8

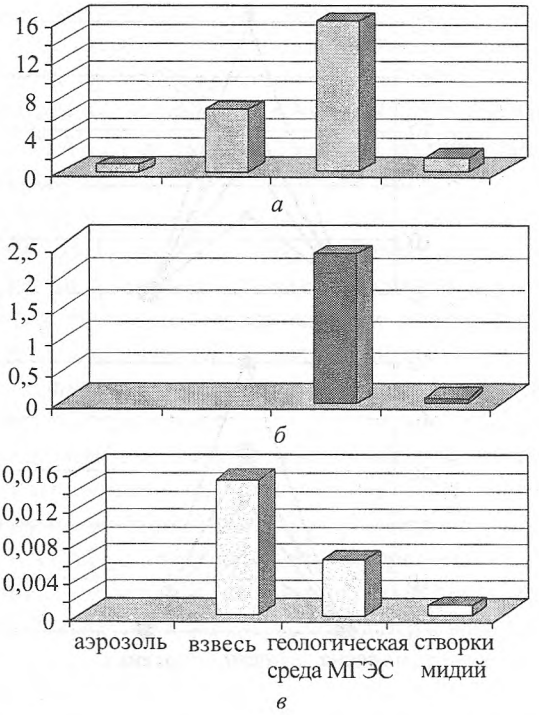


РИС. 3.2.1. Содержание пестицидов, г/т в различных компонентах МАЭС, МАКЭС и МГЭС: *а* – ΣДДТ; *б* – ΣГХЦГ; *в* – трефлан

интенсивной миграции в аэрозольной форме, так и несовершенством сетного метода отбора образцов для исследования содержания пестицидов. Значительное накопление пестицидов происходит в твердой фазе МАКЭС (взвешенное вещество) и в МГЭС черноморского шельфа.

Основным средством защиты урожаев на орошаемых массивах Причерноморья, в связи со спецификой сельскохозяйственной специализации, являются рисовые гербициды – пропанид, ялан, сатурн, которые обладают очень высокой токсичностью по отношению к водным организмам. Максимальное содержание органических и органо-минеральных соединений техногенного и техногенно-природного происхождения в компонентах черноморских аквальных подсистем экосферы наблюдалось в конце 80-х годов XX ст., когда, в частности, гербициды вносили на поля с помощью авиации. В тот период гербициды, применяющиеся при культивировании риса, обнаруживали во всех компонентах МАКЭС и МГЭС шельфовой зоны Черного моря. В МАКЭС их концентрации значительно превышали ПДК.

Наибольшему воздействию этих загрязнителей подвергались определенные участки МГЭС и, в первую очередь, МГЭС морских заливов (Каркинитского, Джарылгачского, Перекопского и др.), граничащих с приморскими орошаемыми сельхозплощадями, в основном, рисовыми чеками. Поступая в заливы со сбросными водами, гербициды вызвали деградацию их МАКЭС и МГЭС, что было обусловлено, прежде всего, нарушением функционирования подсистемы ЖК. Количественное и качественное ухудшения кормовой базы привело к нарушению трофических цепей, уменьшению видового состава и биомассы гидробионтов – компонентов МАКЭС и МГЭС. В результате интоксикации воды значительно уменьшились площади мидиевых полей, ухудшилось состояние этих и других моллюсков, а устричные банки исчезли практически полностью. Заиление и загрязнение дна, в первую очередь перечисленных заливов, привело к по-

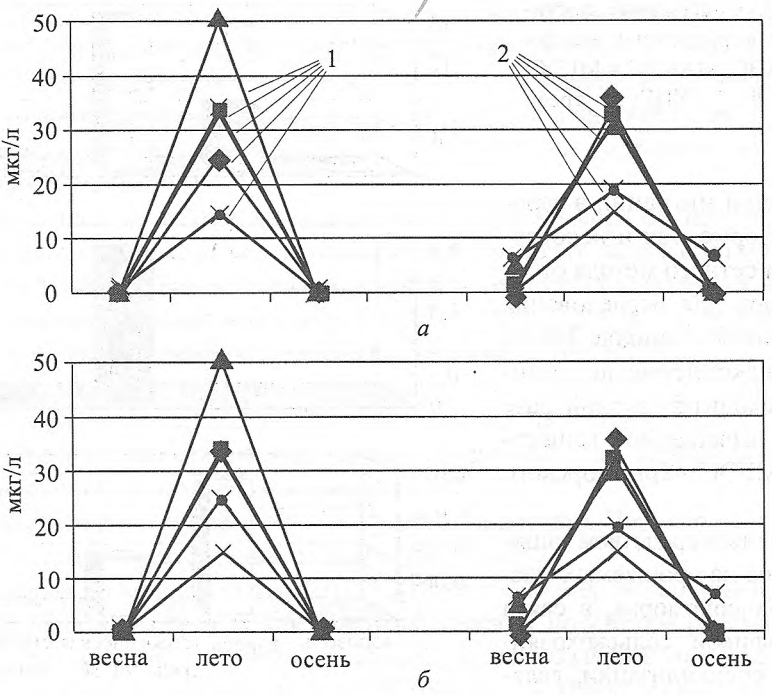


РИС. 3.2.2. Содержание пестицидов (1 – пропанид, 2 – 3, 4 ДХА) в водах сбросных каналов (*а*) и в водной среде МАКЭС заливов (*б*):-◆-Западный Джарылгач,-■- Каржинский, -▲- Каланчакский,-✕-Григорьевский,-■-Восточный Джарылгач

вышению роли полихет и снижению роли моллюсков-фильтраторов в живой подсистеме МГЭС. На рис. 3.2.2 показаны результаты исследования влияния сбросных вод рисовых систем на состояние одного из черноморских заливов – Джарылгачского [48]. В указанный залив впадают сбросные каналы Краснознаменской оросительной системы, что явилось основным фактором медленной деградации его экосистемы на протяжении последних десятилетий XX ст. Сравнительный анализ гидрологических условий, специфики антропогенной нагрузки на различные участки Джарылгачского залива позволил выделить в его пределах пять главных участков, которые характеризуются спецификой формирования качества МАКЭС: 1) Григорьевский (Карадайский) залив; 2) Каланчакский лиман; 3) Каржинский залив; 4) восточная часть Джарылгачского залива; 5) западная часть Джарылгачского залива (рис. 3.2.2, а).

При анализе данных по содержанию пестицидов и гербицидов в воде сбросовых каналов рисовых площадей были обнаружены определенные сезонные закономерности. Так, максимальное содержание пестицидов и гербицидов в водах каналов рисовых чеков характерно для лета, тогда как в весенний и осенний периоды оно резко уменьшается (для пропанида – до нулевых значений).

Максимальное содержание пестицидов наблюдается в водах каналов центральных заливов – Каржинского и Каланчакского, что связано, вероятно, с площадями сеяния риса и динамикой их промывок (рис. 3.2.2, а).

Распределение сезонного содержания пестицидов в МАКЭС заливов имеет те же самые тенденции (рис. 3.2.2, б). Ярко выраженный пик концентраций соответствует летнему периоду. Максимальные концентрации также наблюдаются в МАКЭС центральных заливов, что свидетельствует о высокой интенсивности поступления туда пестицидов. Очевидная связь сезонных колебаний содержания пестицидов в водах каналов и заливов, привязка максимальных концентраций к определенному периоду обусловливаются единым источником и путем поступления рассматриваемых компонентов: мелиоративные площади – сбросовые каналы – заливы. Значительные сезонные перепады содержания рассматриваемых загрязнителей в заливах, резкие уменьшения их концентраций в начале и в конце вегетационного периода свидетельствуют о высокой способности исследованных МАКЭС к самоочищению. Обусловлена такая способность вероятно активной биофильтрацией и сорбцией загрязнителей дисперсным взвешенным компонентом МАКЭС с последующим захоронением уже загрязненного дисперсного компонента в МГЭС. Рассматриваемые пестициды имеют общие черты распределения в МАКЭС и МГЭС, что является, вероятнее всего, следствием зависимости изменения их содержания в экосистемах заливов с сезонным поступлением в составе сбросных вод.

Хлорорганические соединения. Наиболее токсичная часть пестицидов, наряду с полихлорбифенилами входит в состав хлорорганических соединений (ХОС). Из хлорорганических пестицидов (ХОП) традиционно определяются ДДТ и его метаболиты ДДД и ДДЭ, гексахлорбензол (ГХБ), алдрин, эндрин, дилдрин, линдан (гама – ГХЦГ). Полихлорбифенилы (ПХБ), как правило, исследуются в составе двух групп: арохлор-1254 (сумма 11 индивидуальных компонентов) и арохлор-1260 (сумма 9 компонентов ПХБ, но более высокомолекулярных). Сходство химической структуры ДДТ и ПХБ определяет общий характер их токсического действия на морские организмы, причем ПХБ, в составе которых присутствует смесь ядовитых хлорированных дибензофуратов и диоксинов, отличаются большей токсичностью, чем другие хлорированные углеводороды. Токсичность убывает в ряду ПХБ – ДДТ – ДДЭ – дильдрин [49]. ХОС оказывают ингибирующее воздействие на процессы фотосинтеза и клеточного деления, на ферментные системы в мембранах, ответственных за метаболизм азота и на структуру хлоропластов водорослей [50]. В целом, спектр влияния хлорированных углеводородов на различные виды гидробионтов весьма широк. Токсичность их проявляется при более низких уровнях концентраций, чем других загрязняющих веществ, поэтому их нахождение в МАКЭС и МГЭС недопустимо. По масштабам распространенности и генетической опасности введение человеком этих неприродных веществ (ксенобиотиков) в окружающую среду соизмеримо с некоторыми природными процессами [51]. В Чер-

ТАБЛИЦА 3.2.2

Год	Речной вынос суммы ДДТ и изомеров ГХЦГ в Черное море, т			
	Дунай	Днестр	Южный Буг	Днепр
1984	154,03	1,07	2,69	13,55
1985	151,12	0,62	4,79	14,46
1986	68,69	1,20	0,00	6,10
1987	116,44	4,80	0,007	3,15
1988	117,55	4,60	0,003	0,15

ное море хлорированные углеводороды поступают посредством атмосферного переноса, речного стока и водообмена с Азовским и Средиземным морями. Наиболее мощный поток ХОС устремляется в море с речным стоком, при этом доля реки Дунай в поставке этих веществ в экосистему Черного моря варьирует в пределах 89–96 % (табл. 3.2.2).

Средняя суммарная концентрация стойких ХОП в подземных водах основных водоносных горизонтов Украины составляет в среднем 0,066 мкг/л. С подземным стоком рек в акваторию Черного моря ежегодно выносится 2,258 т этих веществ [47]. По данным работы [47], с дренажными и сбросными водами в МАКЭС СЗ шельфа Черного моря ежегодно поступает не менее 2–3 т ХОП. Многообразие источников и регулярность поступления ХОС в МАЭС и МГЭС шельфа Черного моря является существенной причиной нарушений их функционирования. Число случаев обнаружения ДДТ, его метаболитов, альфа- и гамма-изомеров ГХЦГ и ПХБ в МАКЭС шельфа во все наблюдаемые периоды составляет 80–90 %. В 80-е годы XX ст. отмечалось максимальное загрязнения МАКЭС и МГЭС шельфа Черного моря, концентрации ДДТ в отдельных прибрежных районах составляли 32–486 нг/л, ГХЦГ – 20–550 нг/л, что почти в 1000 раз превышало концентрации этих веществ в прибрежных МАКЭС западной части Средиземного моря. Начиная с 90-х годов XX ст. уровень загрязнения МАКЭС черноморского шельфа имеет слабую тенденцию к снижению (табл. 3.2.3). В настоящее время в МАКЭС черноморского шельфа Украины содержатся (в нг/л): суммы ДДТ до 3–5; суммы ГХЦГ – 4; суммы ПХБ – 18. Однако и эти величины значительно (на порядок) превышают уровень загрязнения не только вод открытых акваторий Мирового океана, но и Балтийского моря [52,53]. Концентрация загрязнителей в МАКЭС черноморского шельфа возрастает в ряду ДДЭ – ДДД – ДДТ – ГХЦГ – ПХБ. Пространственное распределение ХОП характеризуется свойственной этим веществам неравномерностью, но без резких градиентов концентраций. В большей степени загрязнены МАКЭС СЗ и крымского шельфа, где отмечается максимальный уровень содержания ПХБ (до 18,1 нг/л) [54]. Вертикальное распределение хлорированных углеводородов в каждом конкретном случае имеет свои особенности в зависимости от гидродинамических,

биохимических и других процессов, которые в том или ином случае являются доминирующими. Наиболее резкие колебания в вертикальном разрезе происходят в прибрежных зонах МАКЭС, где процессы сорбции и биоседиментации протекают более интенсивно.Степень загрязнения взвешенного компонента шельфовой МАКЭС хлорорганическими соединениями также высока, как и ее ЖК, и превышает, например, степень загрязнения взвешенного компонента МАКЭС в районах Северной Атлантики и Балтийского моря [55, 56]. Во всех изученных пробах (а их 56) обнаруживаются ПХБ, ДДТ и оба его метаболита. В большинстве проб содержится ГХЦГ (табл. 3.2.4). Преобладающим загрязняющим веществом взвешенного компонента черноморской шельфовой МАКЭС являются ПХБ, присутствие которых отмечено во всех 100 % случаев наблюдений. Высок как абсолютный уровень ПХБ во взвеси, так и диапазон изменчивости его концентраций. Примерно в 2–3 раза ниже во взвеси уровень содержания ДДТ, на порядок – изомеров ГХЦГ. Пространственное распределение хлорированных углеводородов, связанных со взвешенным компонентом МАКЭС, крайне неоднородно. Наиболее высокие концентрации ХОС характерны для МАКЭС прибрежных районов СЗ шельфа, несколько меньше содержание ХОС в МАКЭС акватории прикерченского шельфа, и минимальное – для МАКЭС акватории крымского шельфа. При этом содержание ХОС в МАКЭС существенно возрастает на свале глубин и в мористой части акватории, прилегающей к Крымскому полуострову.

ТАБЛИЦА 3.2.3

Вещество	Горизонт вод	Распределение ХУВ в водной среде МАКЭС			
		Число определений	Обнаружение, %	Концентрация, нг/л	СКО
ДДТ	поверхностный	153	94	5,40/0,48	0,85
	придонный	125	96	1,00/0,25	0,17
ДДЭ	поверхностный	153	94	1,44/0,15	0,22
	придонный	125	92	1,81/0,10	0,21
ДДД	поверхностный	153	91	3,19/0,17	0,33
	придонный	125	90	1,12/0,12	0,13
ГХЦГ	поверхностный	153	82	4,01/0,53	0,74
	придонный	125	77	3,11/0,43	0,56
ПХБ	поверхностный	153	87	18,1/2,18	3,50
	придонный	125	85	19,7/1,21	1,92
Сумма ДДТ	поверхностный	153	95	7,54/0,80	1,23
	придонный	125	98	2,73/0,51	0,41

Примечание. В числителе приведены данные максимальной концентрации, в знаменателе – средней.

ТАБЛИЦА 3.2.4

Вещество	Статистические характеристики распределения ХУВ во взвешенном веществе МАКЭС Черного моря	
	Обнаружение, %	Концентрация, мкг/кг
ГХЦГ	48,2	0,00–1,36/0,23
Сумма ДДТ	100	63,4–990,3/345
Сумма ПХБ	100	384–3908/1725,0

Примечание. В числителе приведены данные минимальной и максимальной концентраций, в знаменателе — средней.

Это свидетельствует о значительной роли течений в пространственном распределении ХОП. В вертикальном разрезе МАКЭС взвешенный компонент максимально загрязнен в слое термо (гало-) клина, а также в придонном слое [54]. Весьма значительна роль компонентов (гидробионтов) живых подсистем МАКЭС и МГЭС в миграции ХОП. Они не только аккумулируют, трансформируют и разрушают ХОП в процессе своей жизнедеятельности, но и переносят их в различные части морской подсистемы экосферы [57,58]. Процессы биоаккумуляции ХОП изучены для фито- и зоопланктоной компонентной составляющей черноморской МАКЭС, фито- и зообентосной компонентной составляющей черноморской МГЭС, а также демерсального нектона. Во всех образцах зоопланктона обнаруживаются ДДТ и его метаболиты, ПХБ, а в большинстве проб – изомеры ГХЦГ. Причем количество хлорированных углеводородов (ХУВ) в образцах, отобранных в черноморской МАКЭС, в 2–3 раза превышает количество ХУВ, содержащееся в образцах, отобранных в МАКЭС акватории Северной Атлантики [59]. Из метаболитов ДДТ, в пробах преобладает наиболее токсичный и стабильный ДДЭ. Уровень его содержания, как правило, превышает уровень ДДТ. Данные приведены ниже.

Вещество	Концентрация ХУВ, нг/г
ДДТ	1,18–88,90/18,27
ДДЭ	1,18–53,83/22,07
ДДД	0,70–51,37/17,69
ГХЦГ	0,00–78,92/15,12
ПХБ	18,33–388,00/110,97
Сумма ДДТ	4,27–148,40/58,14

Примечание. В числителе приведены данные минимальной и максимальной концентраций, в знаменателе — средней.

Это свидетельствует о том, что процесс трансформации ДДТ в зоопланктонном компоненте МАКЭС Черного моря интенсивно протекает в направлении преобразования ДДТ в ДДЭ [54]. В максимальной степени биоаккумуляции подвержены ПХБ. Их концентрации в зоопланктонном компоненте в несколько раз выше, чем концентрации ДДТ. Сезонная изменчивость концентраций наиболее характерна для ДДТ, уровни содержаний которого минимальны в зимний период и максимальны в летний.

Таким образом, степень накопления ХОС гидробионтами зависит от ряда факторов: физико-химических свойств загрязнителей и их концентрации в среде обитания, содержания липидов в гидробионтах, их видового состава, возраста, физиологического состояния и др. [60]. В зоопланктоне отмечается относительно широкий диапазон изменчивости концентрации ХОС, что свидетельствует о значительной пространственной неоднородности распределения этих веществ.

Уровень содержания ХУВ в зообентосном компоненте МГЭС шельфа Черного моря широко варьирует в зависимости от видового состава и возраста зоопланктона состояния загрязненности геологической среды МГЭС, а также от загрязнения зообентоса ХОП. Данные приведены в табл. 3.2.5, 3.2.6 и показаны на рис. 3.2.3.

Загрязнение фитобентоса ХОС изучено на примере филлофоры, хлорированные углеводороды в которой представлены преимущественно низкомолекулярными полихлорированными бифенилами, содержание которых составляет 55,4 мкг/кг. Концентрации суммы ДДТ и его метаболитов ДДД и ДДЭ не превышают 4 мкг/кг, при этом около 60 % этой суммы составляет ДДЭ. Далее в порядке уменьшения концентраций идут линдан, гексахлорбензол и алдрин.

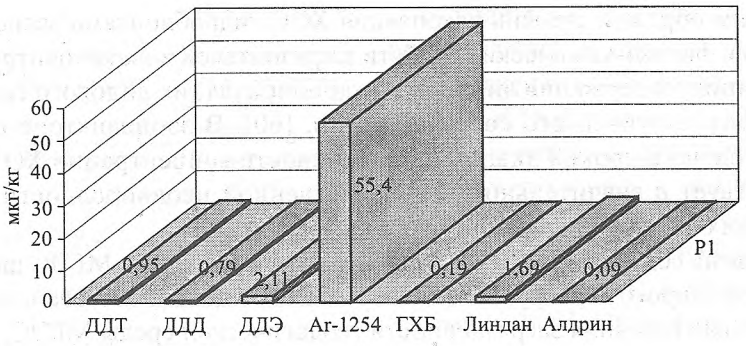
ТАБЛИЦА 3.2.5

Вещество	Уровень содержания ХУВ в зооорганизмах ЖК МГЭС	
	Обнаружение, %	Концентрация ХУВ, нг/г
Изомеры ГХЦГ	57,5	0,00 – 16,2/1,54
Сумма ДДТ	100	0,85 – 26,25/7,01
Сумма ПХБ	100	2,29 – 64,64/18,6

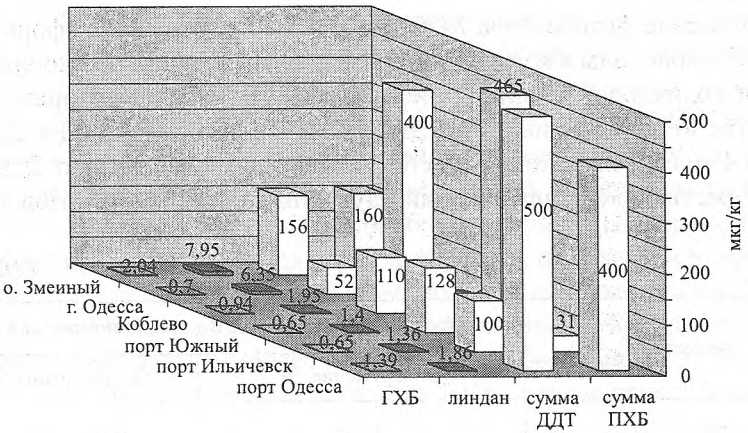
Примечание. В числителе приведены данные минимальной и максимальной концентраций, в знаменателе — средней.

ТАБЛИЦА 3.2.6

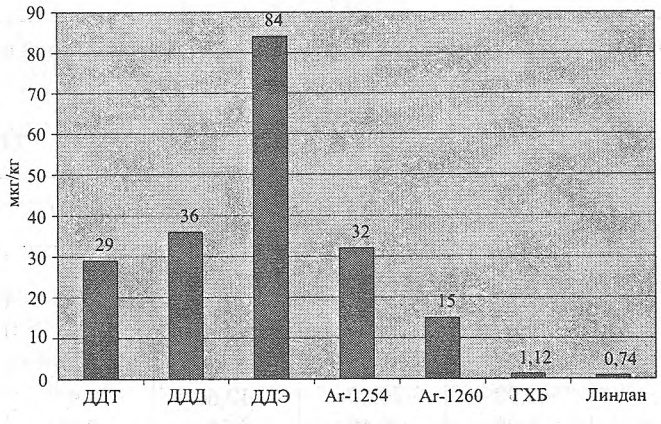
Живой компонент	Содержание ХОС, нг/г сырой массы				
	ДДТ	ДДЭ	ДДД	ГХЦГ	ПХБ
Асцидия	6,66	6,69	5,31	16,2	51,22
Мидии 3–4 мес	1,81	3,27	1,16	0,00	17,25
Мидии 8–10 мес	42,98	20,30	12,60	13,97	157,44
Мидии сеголетки	1,09	0,50	0,53	0,00	7,67
Мидии двухлетки	1,68	0,85	1,21	0,00	17,79
Губки	1,29	0,64	1,0	0,00	11,86



а



б



в

РИС. 3.2.3. Концентрация ХУВ: *а* – в филлофоре поля Зернова, *б* – в мягких тканях мидий, *в* – в тканях черноморской камбалы

В тканях черноморской камбалы-калкана среди индивидуальных ХУВ преобладают ДДЭ и ДДД. В целом, уровни накопления ХУВ в гидробионтах на границе «МАКЭС – МГЭС» уменьшаются в ряду мидии – камбала – филлофора.

Конечным этапом миграционного цикла ХУВ в морском бассейне является седиментация, в результате которой эти высокотоксичные вещества выводятся из МАЭС и депонируются в компонентах МГЭС. Поэтому содержание загрязняющих веществ в МГЭС можно рассматривать как индикатор, интегральную характеристику, наиболее достоверно отражающую состояние загрязнения черноморской экосистемы в целом.

Во всех пробах вещества МГЭС черноморского шельфа, независимо от его гранулометрического и минералогического составов (пески, различного типа илы, ракуша) обнаружены ДДТ и его метаболиты ПХБ, несколько реже – ГХЦГ (табл. 3.2.7). Количество загрязнителей МГЭС возрастает в ряду ГХЦГ – ДДТ – ДДЭ – ДДД – ПХБ. Характерно значительное преобладание ПХБ над ДДТ. Из метаболитов ДДТ доминирует над ДДЭ. Пространственное распределение ХОС в МГЭС характеризуется неоднородностью. Максимальное загрязнение МГЭС хлорорганикой отмечено в пределах крымского и керченского шельфов, а также в устьевых зонах СЗ шельфа.

Среди общих закономерностей распределения ХОС в компонентах МАКЭС и МГЭС следует отметить определяющую роль речного стока в формировании уровней их загрязнения. Наиболее детально исследованы геохимические потоки хлорорганики в пределах дунайского устьевого взморья, принимающего основную массу поступающих в Черное море ХОС.

Для летнего и осеннего периодов характерна 100 % встречаемость в поверхностных и придонных водах МАКЭС придунайского шельфа ДДТ, ДДЭ, ДДД и полихлорбифенилов (табл.3.2.8). Дилдрин определяется в единичных пробах придонного слоя МАКЭС. Встречаемость других компонентов колеблется от 38 до 63 %. Значительно ниже уровень встречаемости ХОС зимой, что типично для этого гидрологического периода, когда в сезонном ходе загрязнения отмечается минимум. Во всех 100 % проб определяется только Ар-1254 и ДДЭ в придонном слое МАКЭС. Остальные соединения определяются в 17–92 % проб.

ТАБЛИЦА 3.2.7

Вещество	Степень загрязнения МГЭС в различных районах шельфа, мкг/кг сухой массы				
	Одесский залив	Днепро-Бугский	Днестровский	Дунайский	Центральный
ГХЦГ	0,36	0,47	0,33	0,79	0,26
ДДТ	1,22	1,24	2,81	6,38	2,14
ДДЭ	2,35	1,89	3,19	5,30	1,27
ДДД	1,92	1,16	4,14	8,76	0,56
ПХБ	15,5	13,0	15,8	35,1	12,2

ТАБЛИЦА 3.2.8

Вещество	Горизонт	Обнаружение, %	Концентрация ХУВ, нг/дм^3			СКО	Коэффициент вариации, %
			минимальная	максимальная	средняя		
Линдан	поверхностный	63/83	0,35/0	12,97/5,3	1,73/0,99	3,25/1,19	188/161
	придонный	50/67	0,16/0	3,38/4,53	0,57/0,64	1,07/1,28	188/200
ГХБ	поверхностный	38/17	0,04/0	0,14/0,20	0,09/0,03	0,17/0,06	189/200
	придонный	44/17	0,04/0	0,14/0,12	0,09/0,01	0,19/0,04	211/400
ДДД	поверхностный	100/50	0,42/0	7,00/0,87	3,13/0,33	1,91/0,36	61/109
	придонный	100/33	0,38/0	8,68/1,31	2,74/0,22	2,37/0,39	86/177
ДДЭ	поверхностный	100/92	1,99/0	8,40/1,27	4,77/0,57	2,01/0,39	42/68
	придонный	100/100	1,61/0,21	11,44/11,10	4,54/1,51	2,69/3,04	59/201
ДДТ	поверхностный	100/83	5,55/0	44,4/3,67	18,03/1,35	11,64/1,19	65/88
	придонный	100/83	3,84/0	46,49/5,17	17,68/1,35	12,06/1,41	68/104
Ар-1254	поверхностный	100/100	10,13/5,26	61,67/42,70	28,76/18,39	17,33/9,87	60/54
	придонный	100/100	12,16/2,32	71,02/94,70	33,38/21,31	17,67/25,59	53/120
Ар-1260	поверхностный	100/83	0,22/0	25,89/7,43	5,55/2,16	6,88/2,33	124/108
	придонный	100/83	0,69/0	23,12/10,40	7,61/2,21	7,29/2,71	96/123
Алдрин	поверхностный	63/17	0,22/0	1,84/0,08	0,46/0,01	0,59/0,03	128/300
	придонный	50/25	0,08/0	0,75/0,51	0,21/0,06	0,28/0,15	133/250
ΣПХБ	поверхностный	100	6,19	43,96	20,55	10,61	52
	придонный	100	2,32	105,10	23,52	28,99	123
ΣДДТ	поверхностный	92	0,00	5,78	2,25	1,60	71
	придонный	100	0,21	16,27	3,08	4,34	141
Гептахлор	поверхностный	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
	придонный	8	0,00	0,18	0,02	0,05	250

Примечание. В числителе приведены данные для летнего и осеннего периодов (16 станций), в знаменателе – данные зимнего периода в целом по акватории (12 станций).

Исходя из данных табл. 3.2.8, на границе «МАКЭС–МАЭС» осенью несколько выше встречаемость линдана и алдрина, ГХБ, чем на границе «МАКЭС –МГЭС». Наиболее высокие абсолютные концентрации у Ар-1254, далее в порядке снижения концентраций следуют ДДТ, Ар-1260, ДДЭ, ДДД, линдан, алдрин, ГХБ. Содержание ДДТ, Ар-1254, Ар-1260 на границе «МАКЭС–МГЭС» в среднем выше, чем на границе «МАКЭС–МАЭС». В то же время при изучении содержания линдана, ДДЭ, ДДД и алдрина обнаруживается обратная зависимость. В целом распределение концентраций рассматриваемых загрязнителей приближается к нормальному закону с максимальной повторяемостью более малых концентраций.

В период гидрологической зимы, когда наименее активны процессы фотохимического и микробиологического разложения и минерализации хлорорганики, типичным для большинства ХОС является преобладание более высоких концентраций этих веществ на границе «МАКЭС–МГЭС» относительно границы «МАКЭС–МАЭС» (ДДД, ДДЭ, ДДТ, Ар-1254, Ар-1260, алдрин) (табл. 3.2.9). По абсолютным концентрациям доминируют полихлорбифенилы и ДДЭ. Если сравнивать содержание ХОС для различных гидрологических сезонов, то в весенний и летний периоды их концентрации в водной среде МАКЭС максимальны, а в зимний период – минимальны. Наиболее низкое содержание ХОС зимой в водной среде МАКЭС мористой части придунайского шельфа. Слаботрансформированные воды Дуная содержат хлорорганические вещества в более высоких концентрациях, а линдана (на границе «МАКЭС–МАЭС») и Ар-1254 (на границе «МАКЭС–МГЭС») в среднем даже больше, чем в летне-осенний период [61].

Тенденция к снижению во времени концентраций линдана, которая наметилась с 1983 г. и продолжается до настоящего времени. Одновременно уменьшилась частота встречаемости данного вещества (со 100 до 63 % осенью и до 83 % зимой). Вместе с тем, значительно возросла частота встречаемости $\sum$ДДТ и $\sum$ПХБ (соответственно с 22 и 23 % до 92–100 %). Возросли абсолютные концентрации полихлорбифенилов, их удельный вес в суммарном содержании ХОС увеличился до 60 %. Рост токсичности среды МАКЭС за счет ПХБ является крайне негативным фактором, поскольку из всех хлорорганических веществ они наиболее агрессивны и стойки к разложению.

Следует отметить, что согласно действующим санитарно-гигиеническим нормам не допускается присутствие ХОП и ПХБ в водной среде МАКЭС, поэтому, несмотря на их относительно невысокие концентрации (в пределах 10^{-7} – 10^{-9} г/дм^3), водная среда МАКЭС шельфа Украины во многих случаях не отвечает требованиям гигиенической и экологической чистоты. Например, довольно часто фиксируется превышение установленных для планктонного компонента МАКЭС критических концентраций $\sum$ПХБ (около 100 нг/л) в ее водной среде [4]. Для проб, отобранных в МГЭС осенью, характерна 100 % встречаемость ДДТ, ДДЭ, ДДД, Ар-1254, Ар-1260, алдрина. Линдан и ГХБ выявляются соответственно в 58 и 43 % проб (табл. 3.2.10). В зимний период в МГЭС

ТАБЛИЦА 3.2.9

Вещество	Горизонт	Обнаружение, %	Концентрация ХУВ, нг/дм³ (зимний период, акватория авандельты Дуная, 4 станции)			СКО	Коэффициент вариации, %
			минимальная	максимальная	средняя		
Линдан	поверхностный	100/75	0,18/0,00	5,30/0,97	3,42/0,28	2,20/0,37	91/132
	придонный	100/50	0,14/0,00	0,66/4,53	0,31/0,81	0,24/1,56	77/193
ГХБ	поверхностный	25/13	0,00/0,00	0,12/0,20	0,03/0,03	0,06/0,07	200/233
	придонный	0/25	0,00/0,00	0,00/0,12	0,00/0,02	0,00/0,04	0,00/200
ДДД	поверхностный	100/25	0,58/0,00	0,87/0,73	0,71/0,15	0,13/0,28	18/187
	придонный	75/13	0,00/0,00	0,50/1,31	0,32/0,16	0,22/0,46	69/288
ДДЭ	поверхностный	100/88	0,58/0,00	1,27/0,76	0,90/0,40	0,36/0,29	40/73
	придонный	100/100	0,69/0,21	11,10/1,34	3,39/0,58	5,14/0,38	152/66
ДДТ	поверхностный	100/75	0,50/0,00	3,64/3,67	1,56/1,25	1,42/1,16	91/93
	придонный	100/75	1,04/0,00	5,17/2,33	2,44/0,80	1,85/0,80	76/100
Ар-1254	поверхностный	100/100	17,80/5,26	27,50/42,7	21,20/16,99	4,53/11,72	21/65
	придонный	100/100	10,80/2,32	94,70/53,1	34,68/14,63	40,14/16,34	116/112
Ар-1260	поверхностный	75/88	0,00/0,00	7,43/2,99	3,68/1,40	3,67/0,88	100/63
	придонный	75/88	0,00/0,00	10,40/2,33	3,48/1,57	4,69/0,84	132/54
Алдрин	поверхностный	25/13	0,00/0,00	0,08/0,06	0,02/0,01	0,04/0,02	200/200
	придонный	50/13	0,00/0,00	0,51/0,12	0,15/0,02	0,24/0,04	160/200
ΣПХБ	поверхностный	100/100	19,10/6,19	33,68/43,96	24,88/18,38	6,39/11,98	26/65
	придонный	100/100	12,72/2,32	105,10/55,16	38,15/16,20	44,70/16,75	117/103
ΣДДТ	поверхностный	100/88	1,66/0,00	5,78/4,12	3,17/1,80	1,82/1,37	57/76
	придонный	100/100	2,11/0,21	16,27/4,31	6,15/1,54	6,76/1,39	110/90
Гепта-хлор	поверхностный	0/0	0,00/0,00	0,00/0,00	0,00/0,00	0,00/0,00	0/0
	придонный	25/0	0,00/0,00	0,18/0,00	0,05/0,00	0,09/0,00	180/0

Примечание. В числителе приведены данные для зимнего периода (акватория авандельты Дуная, 4 станции), в знаменателе – для зимнего периода (взморье Дуная, 8 станций).

ТАБЛИЦА 3.2.10

Соединение	Объект	Встречаемость, %	Концентрация ХУВ, мкг/кг сухой массы (осенний период, 12 проб геологической среды МГЭС, 13 проб мидий)			СКО	Коэффициент вариации, %
			минимальная	максимальная	средняя		
Линдан	осадки	58	0,04	0,43	0,12	0,15	125
	мидии	8	0,46	2,31	0,18	0,64	356
ГХБ	осадки	43	0,02	0,88	0,12	0,25	208
	мидии	100	0,06	3,11	0,57	1,00	175
ДДД	осадки	100	0,72	31,1	4,87	8,74	179
	мидии	100	22,9	196,0	80,75	53,68	66
ДДЭ	осадки	100	1,0	8,08	2,35	1,97	84
	мидии	100	5,61	78,1	25,55	20,0	78
ДДТ	осадки	100	0,96	23,2	5,36	6,1	113
	мидии	50	0,09	96,5	20,31	34,45	170
Ар-1254	осадки	100	5,12	19,0	11,29	4,34	38
	мидии	100	50,1	440,0	193,15	137,0	71
Ар-1260	осадки	100	0,72	14,5	3,6	3,77	105
	мидии	100	13,9	304,0	86,85	82,99	96
Алдрин	осадки	100	0,04	1,47	0,4	0,4	100
	мидии	17	0,11	0,63	0,09	0,22	244

взморья встречаемость ГХБ, ДДД, ДДТ, Ар-1260 и гептахлора снижается, при этом в МГЭС авандельты остается 100 % встречаемость всех ХОС, за исключением гептахлора, который здесь вообще отсутствует. Возможно, в геохимических условиях илистой МГЭС происходит активная деструкция гептахлора, тогда как на взморье он сохраняется более длительное время.

В МГЭС наиболее высокие концентрации характерны для Ар-1254, несколько ниже – для Ар-1260 и группы ДДТ, на порядок меньше для линдана, алдрина и ГХБ. Аналогично распределены концентрации хлорорганических веществ в тканях мидий. При этом встречаемость ингредиентов в мидиях, в целом ниже, чем в геологической среде МГЭС. В частности, 100 % встречаемость типична для ПХБ, ДДД и ДДЭ. Для остальных компонентов она неравномерна и составляет от 0 до 50 %. Характерно относительное увеличение абсолютных концентраций хлорорганических веществ в МГЭС в зимний период, что связано с замедлением химических и микробиологических процессов деструкции ХОС. В МГЭС авандельты (табл. 3.2.11) в зимний период концентрации всех поллютантов существенно (иногда в 3 – 4 раза) выше. В МАКЭС взморья наб-

ТАБЛИЦА 3.2.11

Соединение	Район моря	Встречаемость, %	Концентрация ХУВ, мкг/кг сухой массы (зимний период, 18 станций)			СКО	Коэффициент вариации, %
			минимальная	максимальная	средняя		
Линдан	взморье	100	0,10	0,41	0,19	0,09	47
	дельта	100	0,20	1,13	0,49	0,33	67
ГХБ	взморье	86	0,00	0,40	0,12	0,12	100
	дельта	100	0,14	1,74	0,80	0,69	86
ДДД	взморье	93	0,00	2,02	0,74	0,60	81
	дельта	100	2,25	69,7	33,76	25,92	76
ДДЭ	взморье	100	0,66	4,80	2,08	1,36	63
	дельта	100	1,36	22,80	10,61	9,92	93
ДДТ	взморье	29	0,00	1,18	0,11	0,36	327
	дельта	100	0,99	119,00	19,19	44,03	229
Ар-1254	взморье	100	3,33	59,60	20,51	15,42	75
	дельта	100	8,09	62,00	30,36	19,32	64
Ар-1260	взморье	93	0,00	22,2	3,13	6,08	194
	дельта	100	0,82	27,30	7,45	9,72	130
Гепта-хлор	взморье	29	0,00	0,41	0,11	0,16	145
	дельта	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0

ТАБЛИЦА 3.2.12

Соединение	Встречаемость, %	Концентрация ХУВ, мкг/кг сухой массы (зимний период, 3 станции)			СКО	Коэффициент вариации, %
		минимальная	максимальная	средняя		
Линдан	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
ГХБ	30	0,00	0,52	0,17	0,30	176
ДДД	100	0,84	3,50	1,95	1,38	71
ДДЭ	100	16,10	35,50	24,27	10,06	41
ДДТ	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Ар-1254	100	61,00	103,00	76,80	22,85	30
Ар-1260	100	7,32	10,70	9,33	1,78	19
Гептахлор	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Алдрин	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0

людается рост средних значений только содержаний линдана и Ар-1254, а концентрации ДДД и ДДТ несколько снижаются. Содержание в МГЭС остальных соединений практически не изменяется. Значительно уменьшается зимой содержание всех без исключения ХОС в мягких тканях мидий (таб. 3.2.12), что является откликом на относительное уменьшение загрязненности придонного слоя вод МАКЭС. Коэффициенты вариации концентраций (v) свидетельствуют о крайне неоднородных гидро-, гео- и биохимических полях распределений ХОП и ПХБ. Наиболее выдержаны в водной среде МАКЭС содержания ДДТ, ДДЭ и Ар-1254 ($v < 70$ %). Как правило, в МАКЭС района авандельты Дуная концентрации более равномерны, чем в МАКЭС взморья (исключение составляет Ар-1260, более равномерно загрязнены им воды МАКЭС открытого моря с $v < 60$). В мидиях относительно равномерны концентрации ДДД, ДДЭ и Ар-1254 ($v < 80$ %), а в МГЭС – ДДЭ и Ар-1254 ($v < 84$ и $38 <$ % соответственно). Высокой изменчивостью содержаний во всех компонентах МАКЭС и МГЭС характеризуются ГХБ, алдрин, иногда линдан. Распределение концентраций по площади имеет закономерный характер. Максимальные концентрации в поверхностных слоях МАКЭС локализованы в районе Очаковского гирла – Жебриянской бухты (ДДТ, ДДД, Ар-1254, алдрин, ГХБ), Старостамбульского гирла (ДДТ, ДДД, ДДЭ, Ар-1260, алдрин, линдан) и к юго-востоку от о. Змеиный (ДДТ, ДДЭ, ДДД, алдрин). Остров, как правило, находится в поле низких концентраций ХОС. Градиенты концентраций направлены к устьям Дунайских рукавов и составляют для ∑ПХБ 0,6 – 7,7 нг/км, ∑ДДТ 2,27 – 3,53 нг/км. В результате слияния на широте Очаковского гирла линз трансформированных вод Днепровско – Днестровского стока с Дунайским гидрофронтом, образуется единая зона МАКЭС с максимально загрязненной водной средой. Контур зоны контролируется изохалиной 15,6 ‰, прослеживаясь от устья Старостамбульского гирла в северо-восточном направлении на расстояние до 50 км.

В районе о.Змеиный повышенные концентрации ХОП и ПХБ в МАКЭС также ассоциированы с линзами трансформированных дунайских вод, смещаемых от дельты циклоническим течением. Картина площадного загрязнения поверхностного слоя (чередование вытянутых полей повышенных и пониженных концентраций) указывает на струйный характер распространения загрязненных вод, вовлеченных в мезомасштабную циркуляцию. В придонном слое вод МАКЭС распределение концентраций загрязнителей по площади более равномерно. Отмечаются две области максимальных концентраций, в целом контролируемых изохалиной 17,6 ‰ – к северу от о. Змеиный и в зоне Дунайского гидрофронта. Градиенты концентраций с векторами северных и западных направлений составляют для ∑ДДТ – 2,19 – 3,8 нг/км; ∑ПХБ – 1,8 – 4,7 нг/км. Контуры аномальных полей вытянуты по направлению придонного течения. В условиях циклонической циркуляции, в придонном слое загрязненные воды Дуная оказываются прижатыми к дельте, а водные массы Днепра и Днестра клиновидно распространяются с севера. В районе о. Змеиный загрязнение вод

ТАБЛИЦА 3.2.12

Перечень компонентов	Парная корреляция хлорорганических соединений и некоторых геохимических факторов														
	Гл	Лг	Вг	Fe	Орг	ДДТ	ДДД	ДДЭ	Лн	ГХБ	Алд	ХОП	А 54	А 60	ПХБ
Гл	1														
Лг	–0,08	1													
Вг	0,66	–0,28	1												
Fe	0,29	–0,13	0,02	1											
Орг	0,83	–0,02	0,39	0,64	1										
ДДТ	0,47	–0,25	0,19	0,67	0,78	1									
ДДД	0,58	–0,14	0,29	0,68	0,86	0,95	1								
ДДЭ	0,50	–0,17	0,23	0,67	0,81	0,96	0,99	1							
Лн	0,52	0,23	–0,06	0,33	0,68	0,40	0,50	0,45	1						
ГХБ	0,59	–0,16	0,24	0,62	0,82	0,95	0,98	0,98	0,46	1					
Алд	0,29	–0,32	0,26	0,66	0,63	0,79	0,85	0,88	0,15	0,80	1				
ХОП	0,54	–0,19	0,25	0,68	0,84	0,98	0,99	0,99	0,46	0,98	0,85	1			
А54	0,74	–0,32	0,34	0,28	0,61	0,35	0,33	0,26	0,37	0,31	0,09	0,33	1		
А60	0,55	–0,23	0,23	0,67	0,84	0,96	0,99	0,98	0,47	0,98	0,86	0,99	0,35	1	
ПХБ	0,77	–0,34	0,35	0,56	0,87	0,77	0,77	0,72	0,51	0,75	0,54	0,77	0,85	0,79	1

Примечание. Гл — содержание глинистой фракции в геологической среде МГЭС, Лг — легкая фракция глин, Тг — тяжелая фракция глин, Fe- содержание гидрооксидов железа, Орг — содержание тонкодисперсной органики, Лн — линдан, Алд — алдрин, А54 — Ар-1254, А60— Ар-1260.

МАКЭС на границе с МГЭС минимально или близкое к таковому. По локализации максимальных концентраций и направлениям градиентов уверенно выделяются два основных источника поступления хлоруглеводородов в МАКЭС придунайского шельфа – сток р. Дунай и загрязненные воды из зоны Днепровско – Днестровского бассейна. В общем случае, хлорорганические соединения являются хорошими индикаторами распространения речных вод, на что указывает их положительная корреляция с кремнекислотой и соленостью, а также распределение концентраций по площади. На период съемки 1997 г. воды Днепровско-Днестровского бассейна могли быть идентифицированы по ассоциативной группе ДДТ – ДДД – ДДЭ – Ар-1254 – Ар-1260. Дунайские воды загрязнены более широким спектром ХОС. Кроме ∑ДДТ и ∑ПХБ они повсеместно содержат алдрин, линдан и ГХБ. По мере ассимиляции речных вод, уменьшаются концентрации поллютантов. Это происходит как вследствие диффузного рассеивания, так и осаждения со взвесью. Практически при любой синоптической ситуации дифференцированные водные массы характеризуются принципиально теми же ассоциативными группами ХОС, что свидетельствует об относительном постоянстве описанных мезомасштабных явлений. Загрязнение ХОП и ПХБ МГЭС тесно связано с наличием в их составе сорбционного комплекса глинистых и органических коллоидов. Картина площадного развития загрязнения является отображением сорбционной анизотропии МГЭС. Причем по результатам парной корреляции (табл. 3.2.13) определяющей является связь с органическим компонентом МГЭС. Положительные коэффициенты корреляции концентраций соединений с содержанием органической составляющей МГЭС находятся в диапазоне 0,61 –0,86, коэффициенты корреляции с содержанием глинистой фракции составляют 0,29–0,77. Хорошая положительная корреляционная связь (очевидно, геохимической природы) с уровнем 0,67 наблюдается между группой ДДТ и способными сорбировать хлорорганику гидрооксидами железа.

В пределах акватории придунайского шельфа наиболее высокие концентрации хлорорганических веществ характерны для илистых участков МГЭС авандельты Дуная. Здесь локализованы максимальные концентрации ДДТ (23 осенью и 119 мкг/кг зимой), ДДД (соответственно 31 и 69 мкг/кг), ДДЭ (8 и 22 мкг/кг), Ар-1260 (10 и 27,3 мкг/кг), Ар-1254 (15 и 62 мкг/кг). Интенсивность загрязнения МГЭС непосредственно возле гирл пропорциональна объему их стока. На восток от авандельты концентрации закономерно уменьшаются до минимальных на долготе о. Змеиный. Далее на юго-восток концентрации несколько возрастают, что связано с увеличением илистой и органической составляющей МГЭС. Таким образом, минимальные концентрации в МГЭС ∑ДДТ и ПХБ образуют меридионально вытянутое поле, охватывающее о. Змеиный (рис. 3.2.4).

Несколько иной является картина пространственного распределения загрязнения МГЭС ГХБ, алдрином, линданом и гептахлором. Кроме придельтовой части МГЭС, относительное увеличение концентраций первых трех веществ отмечено в районе о. Змеиный. Увеличение линдана и ГХБ отмечено там, где

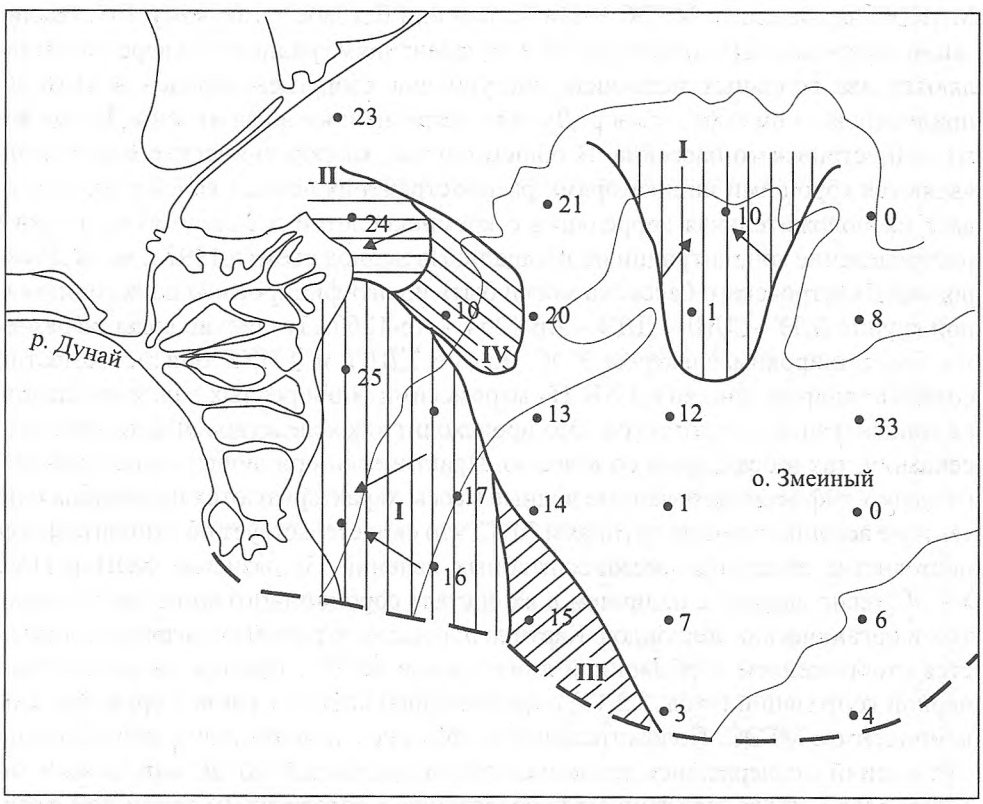


РИС. 3.2.4. Карта геохимических ассоциаций ХОС в слое водной среды МАКЭС на границе с МГЭС придунайского района черноморского шельфа Украины (сентябрь, 1997 г.)
Поля сонахождения по максимальным значениям: I— ДДТ, ДДД, ДДЭ, Ar-1260; II— Ar-1254, Ar-1260, алдрин; III— Ar-1260, алдрин, линдан, ГХБ; IV— алдрин, ГХБ; → — направления возрастания градиентов; • — номер станции

содержание ∑ДДТ и ПХБ было минимальным. Геологическая среда МГЭС на этих участках представлена детрито-раковинными карбонат-кварцевыми песчаными компонентами. Возможно, это свидетельствует о том, что песчаная составляющая среды больше сорбирует именно линдан, по сравнению с веществами группы ДДТ. Отметим, что это не соответствует опубликованным данным в работе [61] где указано, что на основании лабораторных экспериментов установлена 74 % сорбция ДДТ на песке за 10 мин и 36–52 % сорбция линдана за 30 мин. Можно предположить, что сорбционные возможности песков по отношению к ДДТ представляются этим источником несколько завышенными.

Гептахлором авандельтовый район МГЭС загрязнен в наименьшей мере. Наиболее загрязнены им участки МГЭС, испытывающие относительно слабое влияние дунайского выноса. Причина именно такой дифференциации гептахлора пока не известна.

Если содержание хлорорганики в МГЭС отражает латеральную геохимическую структуру ландшафтов, то концентрации ХУВ в тканях мидий фиксируют доминирующее во времени положение потока наиболее загрязненных вод на границе «МАКЭС и МГЭС». Чем продолжительнее период влияния загрязненных вод или выше концентрации хлорорганики, тем большее их количество накапливается в мягких тканях мидий. При этом следует учитывать поправку на биологический период полувыведения соединений (стремление к диффузному равновесию в системе организм – вода) и тот факт, что биохимические процессы метаболизма и деструкции пестицидов в органах мидий происходят несколько активнее, чем аналогичные геохимические процессы в МГЭС в целом.

Распределение концентраций хлорорганики в мягких тканях мидий по площади определяется тремя основными факторами: резистентностью мидий к каждой конкретной группе поллютантов, преобладающим во времени потоком наиболее загрязненных вод на границе «МГЭС – МАКЭС», а также составом и уровнем загрязнения МГЭС. Максимальное содержание ДДТ (>90 мкг/кг) и ДДЭ (>50 мкг/кг) характерно для мидий мористой части МГЭС придунайского шельфа. В северной части наиболее высокие содержания ДДД (>150 мкг/кг), Ар-1260 (>300 мкг/кг), Ар-1254 (>400 мкг/кг), образующих стойкую ассоциацию, что свидетельствует о постоянстве притока загрязненных вод Днестра и Днепра в МАКЭС и МГЭС придунайского шельфа. На юг от о. Змеиный в мидиях повышены концентрации Ар-1260 (>150 мкг/кг) и ГХБ (>3 мкг/кг).

Распределение концентраций хлорорганики в системе живой – неживой компонент МГЭС не однозначно. Как указывалось выше [61], с ростом концентраций большинства хлорированных углеводородов в геологической среде МГЭС синхронно возрастают их концентрации в ЖК (пример – мидии). Однако, для ДДТ и группы Ар-1254, которые наиболее изучены из хлорорганических соединений, зафиксирована обратная зависимость – рост концентраций в неживом компоненте МГЭС ведет к уменьшению концентраций ЖК, т. е. они максимально загрязнены указанными загрязнителями в тех частях МГЭС, где геологическая среда (в литологическом отношении преимущественно песчаная) содержит их в минимальных концентрациях. В крайней западной части МГЭС, совпадающей с авандельтой Дуная и наиболее загрязненной его выносами, концентрации в мидиях ДДД и Ар-1254 наиболее низки по сравнению с другими участками МГЭС придунайского шельфа.

Причина такого инверсионного эффекта, возможно, заключается в стремлении достижения системой равновесия геохимического баланса, входящих в нее химических соединений. В аккумулятивных районах очищение придонного слоя МАКЭС осуществляется в равной мере как за счет абсорбции гидробионтами (в т.ч. мидиями), так и адсорбции минеральными и органическими коллоидами геологической среды МГЭС. В пределах районов транспорта и рассеивания вещества, характеризующихся низким содержанием адсорбен-

тов, очищение придонного слоя происходит практически в тех же объемах, но преимущественно за счет абсорбции бентосными гидробионтами, т. е. ту часть поллютантов, которая в первом случае поглощалась геологической средой МГЭС, вынуждены фильтровать мидии.

При постоянном содержании в водной среде МАКЭС хлорорганических соединений, процесс их аккумуляции в мягких тканях мидий происходит до определенного уровня, после которого возникают токсические эффекты, приводящие, в конечном результате, к гибели организма. Таким образом, способность геологической среды МГЭС к самоочищению может негативно влиять на ЖК системы. Степень концентрирования хлорорганических веществ в компонентах МГЭС и МАКЭС определяли на основании коэффициентов аккумуляции – отношении концентраций ХОС в донных осадках и придонном слое воды ($К_{д/в}$); в мидиях и донных осадках ($К_{м/д}$); в мидиях и придонном слое во-

ТАБЛИЦА 3.2.14

Соединение	Среднее значение коэффициента аккумуляции ХОП и ПХБ		
	$К_{д/в}$	$К_{м/д}$	$К_{м/в}$
ДДД	1200	21	16000
Ар-1260	580	14	7600
ДДЭ	420	4	1900
Ар-1254	280	8	1800
ДДТ	280	2	400
ГХБ	570	6	250
Алдрин	880	0	3
Линдан	50	0	0

ТАБЛИЦА 3.2.15

Коэффициент аккумуляции	Степень накопления ХОС					
	отсутствует	слабая	умеренная	повышенная	сильная	очень сильная
	0	n	n × 10	n × 10^2	n × 10^3	n × 10^4
$К_{д/в}$	—	—	линдан	ГХБ, ДДТ, ДДЭ, Ар-1254, Ар-1260, алдрин	ДДД	—
$К_{м/д}$	алдрин, линдан	ГХБ, Ар-1254, ДДЭ, ДДТ	Ар-1260, ДДД	—	—	—
$К_{м/в}$	линдан	алдрин	—	ДДТ, ГХБ	Ар-1260, ДДЭ, Ар-1254	ДДД

ды ($К_{м/в}$). Расчеты выполняли аддитивно на каждой станции по содержаниям, приведенным к природному содержанию воды в МГЭС и мягким тканям мидий. Поскольку загрязненность воды МАКЭС (в т. ч. в придонной зоне) резко колеблется даже в пределах краткого временного интервала, значения коэффициентов осредняли по площади в целом (табл. 3.2.14).

Используя порядок средних значений коэффициентов аккумуляции, определяли степень накопления хлорорганических соединений в геологической среде МГЭС и мидиях при поступлении этих веществ из пограничных слоев водной среды МАКЭС, а также в мидиях относительно геологической среды МГЭС (табл. 3.2.15).

На основании приведенных данных составлены ранжированные ряды ХУВ по их аккумулятивной способности в компонентах МГЭС и МАКЭС шельфа (в порядке снижения):
в геологической среде МГЭС: ДДД – алдрин – Ар-1260 – ГХБ – ДДЭ – Ар-1254 – ДДТ – линдан; в мидиях: ДДД – Ар-1260 – ДДЭ – Ар-1254 – ДДТ – ГХБ – алдрин – линдан. Подобные ряды приведены и в литературе [61,63].

Мидии активно концентрируют хлорорганику. Содержание ДДД в мягких тканях мидий в среднем на четыре порядка выше, чем в придонном слое воды МАКЭС. На три порядка выше содержание полихлорбифенилов и ДДЭ; на два порядка – ДДТ и ПХБ. Следует отметить, что высокие концентрации ДДД могут быть результатом не только извлечения его из водной среды, но и процессов метаболизма ДДТ, который происходит в органах моллюсков, в результате чего определяемость его в мидиях снижается до 50 %. В МГЭС концентрации ДДД превышают таковые в пограничных слоях водной среды МАКЭС в среднем на три порядка. Коэффициент аккумуляции в МГЭС остальных изученных поллютантов наиболее выдержан, составляя $n \times 102$ (за исключением линдана – $n \times 10$).

Содержание хлорорганических соединений в мидиях по средним показателям превышает числовые значения их концентраций в геологической среде МГЭС в десятки раз (ДДД, Ар-1254).

ГЛАВА 3 Нефтяные углеводороды

Содержание нефтепродуктов – один из важнейших показателей качества МАКЭС. Попадая в МАКЭС, нефть и нефтепродукты под воздействием ряда физических и биохимических процессов изменяют как свои физико-химические свойства, так и свойства водной среды МАКЭС, от которых во многом зависят процессы взаимодействия между океанскими МАЭС и МАКЭС. Но именно эти процессы, как было выяснено многими исследованиями, непосредственно влияют на климатические особенности земной экосферы, состояние ее ЖК, процессы его воспроизводства и существования, в конечном итоге, на условия обитания человека на планете Земля [64].

Нефть и нефтепродукты – сложная многокомпонентная смесь различных углеводородов (парафины, олефины, нафтены, ароматические соединения). В водной среде МАКЭС нефть перераспределяется в различные миграционные формы: пленочную, растворенную, эмульгированную, сорбированную. По данным работы [65] на испарение легких фракций пленочной нефти приходится около 60 %, на растворение и эмульгирование – 1–5 % и на образование нефтяных остатков – 23–28 % от общего ее количества, поступившего на границу МАКЭС и МАЭС. Следует заметить, что хорошо растворимы в водной среде только низшие ароматические соединения и парафины. В сорбированную (взвешенную) форму переходят более тяжелые полициклические углеводороды и гетероциклические соединения. В процессе биохимического и химического окисления образуются наиболее тяжелые фракции нефтепродуктов – смолы и асфальтены. В процессе осаждения взвеси с адсорбированными углеводородами последние поступают в слои МГЭС, расположенные на ее границе с МАКЭС. Именно здесь происходит окончательное разложение и минерализация нефтяных углеводородов.

В состав нефтепродуктов входят также полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), молекулы которых со-

держат два и более бензольных кольца. Являясь продуктом термического (400–7000°С) воздействия на углеводородные вещества, упомянутые соединения обладают высокой токсичностью, мутагенной и канцерогенной активностью. Наиболее распространены такие ПАУ как бенз(а)пирен, пирен, перилен, флуорантен, коронен и фенантрен.

Для акватории Черного моря нефтепродукты являются традиционными загрязнителями. Среднемноголетние концентрации суммы нефтяных углеводородов (∑НУ) в воде составляют 0,06–0,07 мг/л [66] при ПДК 0,05 мг/л. Загрязнение моря нефтепродуктами имеет непрерывный характер. Источники поступления нефтяных углеводородов (НУ) на акваторию шельфа – сбросы и утечки с береговых источников, судоходство, трансграничные переносы, поступление с речным стоком, а также эманации из глубинных горизонтов земли. В связи с этим характерен высокий (73,1 %) уровень их обнаружения. В основном наблюдаются концентрации НУ в 3–6 раз превышающие предельно-допустимые, а в 2–4 % случаев (от общего числа наблюдений) содержание НУ в 10–20 раз превышает ПДК [67]. Распределение углеводородов в поверхностном микрослое (ПМС) на границе «МАЭС–МАКЭС» довольно однородно, а их концентрации изменяются от 0,05 до 0,2 мг/л при среднем 0,1 мг/л. Необходимо отметить, что ПМС в открытой части МАКЭС содержит существенно больше НУ (0,4–0,6 мг/л), чем ПМС шельфовой МАКЭС. Многие исследователи связывают это с особенностями гидродинамики МАКЭС [64]. Однако, в открытой части черноморской МАКЭС, загрязнение ПМС имеет неустойчивый характер, а в ПМС шельфовой части МАКЭС концентрации содержания НУ более однородны. Также для ПМС МАКЭС характерны относительно высокие концентрации ПАУ (табл. 3.3.1) [68]. Причем максимальные концентрации регистрируются после дождя, вымывающего ПАУ из МАЭС, что свидетельствует о значимости взаимосвязи МАЭС с МАКЭС в миграции и общем

ТАБЛИЦА 3.3.1

ПАУ	Случай обнаружения, %	Диапазон изменения концентраций ПАУ, нг/л	Среднее содержание ПАУ, нг/л	СКО
Поверхностный микрослой				
Перилен	75	0,00–0,10	0,04	0,03
3,4-бенз(а)пирен	93	0,00–0,46	0,18	0,11
Пирен	100	1,49–9,21	4,84	2,74
11,12-бензфлуорантен	75	0,00–0,24	0,12	0,08
Поверхностный горизонт вод				
Перилен	36	0,00–0,09	0,01	0,03
3,4-бенз(а)пирен	63	0,00–0,19	0,03	0,04
Пирен	100	0,03–3,32	0,97	1,07

ТАБЛИЦА 3.3.2

Очистная станция	Концентрация ПАУ в геологической среде МГЭС, мкг/кг			
	перилен	3,4-бенз(а)пирен	пирен	11,12-бензфлуорантен
г. Одесса	0,76	1,78	3,67	1,03
г. Ялта	36,09	72,94	74,66	90,48
г. Евпатория	0,86	4,08	6,90	5,30
г. Феодосия	51,11	14,13	33,56	21,65
г. Алушта	17,70	3,20	5,18	2,57
пгт. Кача	31,41	36,09	29,29	39,62
нефтебаза г. Феодосия	111,59	14,54	22,27	14,47
с. Малореченское	11,37	11,47	15,32	18,80

балансе полициклической ароматики. Распределение НУ в поверхностном однометровом слое водной среды шельфовой МАКЭС характеризуется более низкими, чем в ПМС концентрациями, составляющими в среднем 0,02 мг/л. Хорошо выражены сезонные колебания концентраций с максимумом в летний и зимний периоды. Наиболее загрязнена водная среда МАКЭС СЗ шельфа. В Одесском и Каркинитском заливах содержание углеводородов в водной среде МАКЭС часто достигает 0,28 мг/л.

Содержание 3,4-бенз(а)пирена в воде СЗ шельфа варьирует от аналитического нуля до 7,2 нг/л при среднемноголетнем значении 0,34 нг/л [68]. Наиболее распространенным ПАУ в морской воде является пирен. Он присутствует во всех пробах, что обусловлено его высокой растворимостью, превосходящей растворимость 3,4-бенз(а)пирена в 600 раз.

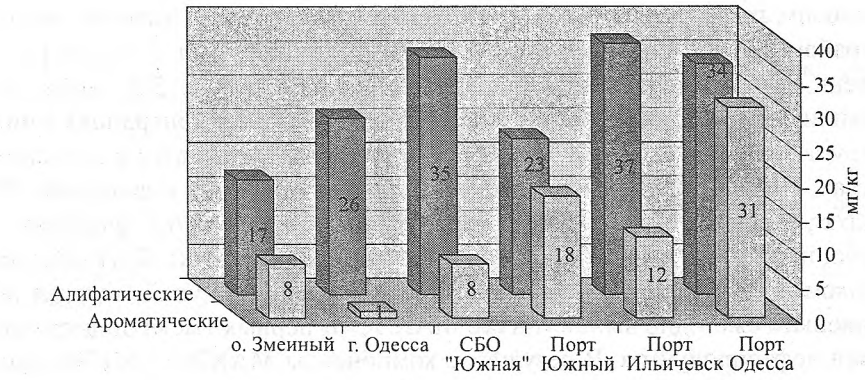
Гидрофобно-липофильные свойства нефтяных углеводородов способствуют их аккумуляции гидробионтами, взвешенным компонентом МАКЭС и МГЭС. Следует отметить, что ароматические углеводороды содержатся в 100 % проб геологической среды МГЭС черноморского шельфа Украины.

В пространственном распределении НУ в МГЭС Черного моря много общего с их распределением в черноморской МАКЭС. В частности, наиболее высокие содержания характерны для МГЭС в районах халистаз (450–480 мг/кг), в шельфовых районах МГЭС диапазон изменчивости содержания НУ достаточно широк – от 0 до 120 мг/кг. Такой характер распределения связан как с процессами самоочищения, которые более активно происходят в мелководных районах, так и с притоком углеводородов из недр в глубоководной части моря. Среднемноголетняя концентрация ароматических углеводородов в шельфовых районах МГЭС составляет 7,8 мг/кг при диапазоне 0,04–137,9 мг/кг. Широко распространен 3,4-бенз(а)пирен со среднемноголетней концентрацией 7,5 мкг/кг, (диапазон от 0 до 180 мкг/кг). Наибольшие концентрации наблюдаются в устьевых частях рек, где происходит седиментация и депонирование в МГЭС основной массы

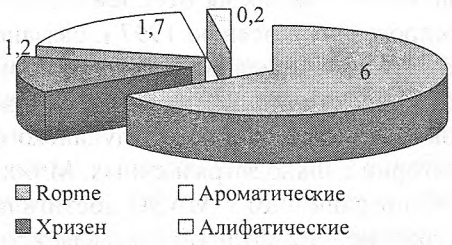
ПАУ, приносимых с речным стоком. Несколько меньше уровень загрязненности МГЭС в районах выпусков сточных вод очистных станций (табл. 3.3.2) [68].

Уровень накопления НУ в гидробионтах показан на рис. 3.3.1 *а,б,в,г,д*. ПАУ накапливаются в мидиях селективно. В наибольших концентрациях в них присутствует антрацен (200–300 мкг/кг). Другие ПАУ содержатся в меньших количествах. В частности, содержание фенантрена колеблется в диапазоне 20 – 130 мкг/кг, флуорантена – 10–50 мкг/кг, пирена – 8–40 мкг/кг, флуорена – 1–35 мкг/кг, нафталина и 1-метилнафталина – не более 15 мкг/кг. Крупнейшим поставщиком НУ в акваторию Черного моря является река Дунай, которая по разным оценкам ежегодно выносит в его МАКЭС от первых тысяч до десятков тысяч тонн нефтепродуктов. В результате компоненты МАКЭС и МГЭС придунайского шельфа периодически испытывают экстремальное загрязнение. Такая ситуация была зафиксирована, в частности, во время осенней съемки 1997 г. Аномальное загрязнение вод нефтепродуктами осенью 1997 г. связано также с необычно большим для этого сезона стоком Дуная, вызванным значительным количеством осадков в предыдущий весенне-летний период. По уровню концентраций нефтепродуктов участок МАКЭС в районе придунайского шельфа в сентябре 1997 г. относился к категории сильно загрязненных. Минимальные концентрации НУ в слое МАКЭС пограничном с МАЭС достигали уровня 0,2 мг/л, максимальные – 3,2 мг/л и средние – 1,2 мг/л, что составляет соответственно 4, 64 и 24 ПДК. Несколько более высокие, за исключением средних значений, концентрации ∑НУ наблюдались в водной среде МАКЭС на границе с МГЭС: минимальные 0,3 мг/л (6 ПДК), максимальные – 4 мг/л (80 ПДК), средние 1,1 мг/л (22 ПДК). В пространственном распределении концентраций НУ в водной среде МАКЭС четко прослеживалась очаговая структура загрязнения. Максимальные концентрации нефтепродуктов (>2 мг/л) наблюдались на границе «МАЭС – МАКЭС» в Жебриянской бухте, устьях Очаковского и Старостамбульского рукавов, а также в акватории, прилегающей к о. Змеиный. К югу от острова, в перемещенной с Дунайского гидрофронта линзе трансформированной водной среды (S<15 ‰) концентрации нефтепродуктов составляли 2,6–3,0 мг/л. Контур загрязненной водной среды с содержанием нефтепродуктов около 1 мг/л непрерывно охватывал центральную часть МАКЭС придунайского шельфа с запада и юга. На востоке и севере отмечались изолированные участки МАКЭС с аналогичным содержанием нефтепродуктов. В центральной части акватории 60 % исследованной площади концентрации ∑НУ составляли 0,3–0,7 мг/л, что дало повод говорить о формировании здесь характерного сезонного техногенного фона.

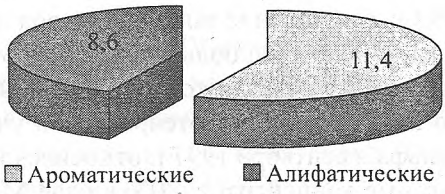
В водной среде МАКЭС на границе с МГЭС аналогичные фоновые концентрации были зафиксированы на 40 % исследованного пространства и тяготели к его восточной, более мористой части. Значительно чаще загрязнение водной среды МАКЭС на границе с МГЭС (с уровнем 1 и 2 мг/л) встречалось с внутренней стороны Дунайского гидрофронта и севернее, в зоне влияния водных



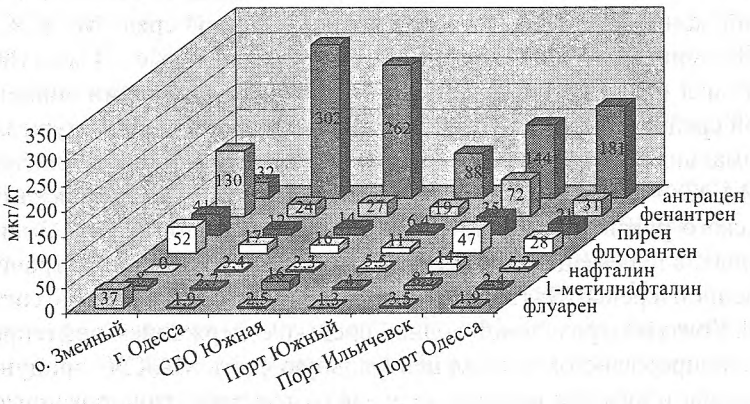
а



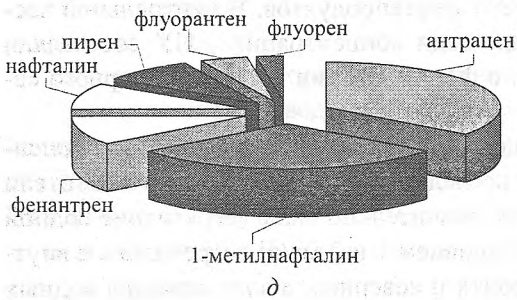
б



в



г



д

РИС. 3.3.1 Уровень накопления НУ в гидробионтах, мг/кг: *а*–в мягких тканях мидий; *б*–в тканях черноморской камбалы; *в*–в филлофоре поля Зернова; *г*–накопления ПАУ в мягких тканях мидий; *д*–накопления ПАУ в тканях черноморской камбалы

масс Днепровско-Днестровского бассейна. В районе о.Змеиный распределения концентраций НУ в водной среде на границе «МАКЭС – МАЭС» и на границе «МАКЭС – МГЭС» близки как по площади, так и по абсолютным значениям (1,2–2,0 мг/л), что может быть следствием апвеллингов, возникающих здесь при ветрах любых направлений.

В целом, закономерности пространственной дифференциации нефтепродуктов в водной среде МАКЭС в районе придунайского шельфа достаточно хорошо согласуются с характером гидрологических полей, имеющих место в период проведения исследования. Осреднение полученных значений по МАКЭС района авандельты и открытой части акватории (сентябрь, 1997г. (табл. 3.3.3)) показывает влияние речного стока. С удалением от берега уменьшаются концентрации нефтепродуктов во всех компонентах черноморской экосистемы, в первую очередь, в МАКЭС, затем в МГЭС. Значительно ниже концентрации углеводородов в водной среде МАКЭС были зафиксированы в декабре 1998 г. Несмотря на то, что МАКЭС способна аккумулировать нефтепродукты в зимний период, содержание НУ в ней не превышало или было на уровне ПДК (табл. 3.3.4). Часть исследованной МАКЭС была свободна от нефтепродуктов (содержание на уровне аналитического нуля). Загрязненные участки МАКЭС прослеживались узкой полосой вдоль дельты р. Дунай и распространялись клиновидно с севера, достигая о.Змеиный. В целом, район МАКЭС у авандельты Дуная характеризовался повышенными содержаниями НУ по сравнению с МАКЭС открытой части моря. Однако, концентрация ароматических соединений была несколько больше в МАКЭС взморья. Отметим, что на границе «МАЭС – МАКЭС» максимум концентрации ароматических соединений фиксировали в крайней южной и юго-восточной частях придунайского шельфа, а на границе «МАКЭС – МГЭС» — в западной и северной частях изучаемой акватории. В МГЭС абсолютные концентрации нефтепродуктов колебались в сентябре 1997 г. от 0,2 до 2,5 мг/кг, при среднем 0,8 мг/кг, что соответствовало чистому природному грунту по классификации Минэкобезопасности Украины.

ТАБЛИЦА 3.3.3

Район исследований	Количество станций	Средняя концентрация НУ		
		Поверхностный слой водной среды МАКЭС, мг/л	Придонный слой водной среды МАКЭС, мг/л	Геологическая среда МГЭС, мг/кг
Авандельта Дуная (до изобаты 20 м)	7	1,43	1,96	1,6
Открытое море (до меридиана 30^0 25′)	28	1,14	0,95	0,99

ТАБЛИЦА 3.3.4

Соединение	ПДК, мг/л	Концентрация НУ в водной среде МАКЭС, мг/л			СКО	Коэффициент вариации, %
		минимальная	максимальная	средняя		
В целом по площади, 19 станций						
ΣНУ	0,05	0,00/0,00	0,16/0,06	0,02/0,01	0,04/0,02	200/200
ΣАУh	0,05 (0,003*)	0,001/0,0004	0,010/0,003	0,002/0,001	0,002/0,001	100/100
ΣАУr	0,05	0,002/0,002	0,053/0,015	0,009/0,005	0,013/0,003	144/60
Авандельта Дуная, 7 станций						
ΣНУ	0,05	0,00/0,00	0,16/0,06	0,03/0,019	0,06/0,025	200/132
ΣАУh	0,05 (0,003*)	0,0007/0,0005	0,0017/0,030	0,0011/0,001	0,0004/0,0009	36/90
ΣАУr	0,05	0,0035/0,003	0,0086/0,015	0,0054/0,006	0,002/0,004	37/67
Взморье Дуная, 12 станций						
ΣНУ	0,05	0,00/0,00	0,100/0,010	0,013/0,003	0,028/0,005	215/167
ΣАВУh	0,05 (0,003*)	0,0005/0,0004	0,010/0,0014	0,002/0,0008	0,003/0,0003	150/38
ΣАУr	0,05	0,0017/0,002	0,053/0,0071	0,011/0,0039	0,016/0,0014	145/36

Примечания. * – ПДК, действующие в странах ЕС. 1. ΣНУ – сумма нефтяных углеводородов (метод ИКС); 2. ΣАУ — сумма ароматических углеводородов (метод СФ) по стандарту хризен (h) и стандарту «Ropme» (r); 3. В числителе приведены данные для поверхностного слоя, в знаменателе — для придонного.

Максимальные концентрации нефтепродуктов (2,5 мг/кг) были обнаружены в МГЭС непосредственно возле о. Змеиный. Причиной этого явились, вероятно, разливы топлива при его перекачивании с судов на остров. Содержание нефтепродуктов 2,0 мг/кг характерно для МГЭС в центральной и южной частях авандельты Дуная, в районе Новостамбульского и Старостамбульского гирл. В северной части авандельты и в Жебриянской бухте МГЭС содержит 1,5–1,7 мг/кг НУ. За пределами авандельты, от изобаты 25 м до о. Змеиный концентрации нефтепродуктов в МГЭС повсеместно составляли 0,4 мг/кг, далее на восток, от острова уменьшаясь до 0,2–0,3 мг/кг. Последние значения характеризуют фоновое содержание нефтепродуктов в МГЭС, которое на момент съемки являлось показателем баланса между поступлением НУ и их деструкцией (рассеиванием). К югу от острова располагалась зона относительно повышенной концентрации НУ – 0,7–1,0 мг/кг, что обусловливалось, вероятно, развитием в этом районе эманаций НУ с глубинных горизонтов или (и) с трансграничными переносами рассматриваемых загрязняющих веществ.

Концентрации НУ в МГЭС в декабре 1998 г. превышали в 30–80 раз значения, зафиксированные в сентябре 1997 г. (табл. 3.3.5). Относительно сильное загрязнение МГЭС нефтяными углеводородами развито по периметру исследованного пространства (аналоги условно загрязненный и загрязненный грунт по классификации грунтов дноуглубления Минэкобезопасности Украины). В то же время центральная его часть оставалась практически «природно-чистой» (по этой же классификации). Такой пространственный характер загрязнения, возможно, связан с особенностями динамики водной среды смежной МАКЭС в предыдущий период. Наиболее часто после выхода из гирл придонные слои водной среды МАКЭС резко отклоняются в южном или северном направлении, вовлекаясь в квазистационарные круговороты, в центре которых длительное время сохраняется более чистая водная среда.

Ароматические углеводороды максимально сосредоточены в илистых МГЭС авандельты, сформировавшихся под влиянием стоков Очаковского и Новостамбульского гирл. Концентрации ароматических углеводородов здесь в десятки раз превышают их концентрации в МГЭС открытой части моря. Содержание трансформированных нефтепродуктов, к которым принадлежит тяжелая фракция НУ, на взморье и в авандельте было практически одинаковым и составляло 0,7–1,7 % от НУ. Это свидетельствует о низкой активности минерализации углеводородов в зимний период и доминировании процессов, способствующих их аккумуляции.

Отметим наличие положительной корреляции между содержанием нефтепродуктов и концентрацией общего органического углерода в МГЭС. При содержании НУ 0,2–1,0 мг/кг средняя концентрация $C_{орг}$–0,61 %, а при концентрациях НУ 1,5–2,0 мг/кг среднее содержание $C_{орг}$ возрастает до 1,82 %.

Накопление углеводородов в МГЭС происходит, в основном, в результате миграции НУ техногенной природы, а также в результате природных спонтанных эманаций из недр. Косвенным подтверждением притока НУ из глубинных слоев литосферы является увеличение их концентраций в водной среде МАКЭС на границе с МГЭС. Особенно это характерно для периодов развития термоклина [53], а также проявления активной дегазации литосферы в районе СЗ континентального склона. Кроме того, в ряде случаев отмечаются

ТАБЛИЦА 3.3.5

Соединение	Концентрация НУ в геологической среде МГЭС, мг/кг			СКО	Коэффициент вариации, %
	минимальная	максимальная	средняя		
ΣНУ	0,00/20,00	255,0/75,00	145,86/35,75	95,29/20,33	65/57
ΣНП	0,09/0,09	2,75/2,30	1,05/0,63	0,93/0,71	89/113
ΣАУh	1,30/0,20	33,00/3,20	9,81/1,15	10,89/0,86	111/75
ΣАУг	6,60/1,00	170,00/16,00	49,81/7,93	56,14/4,46	113/56

Примечание. В числителе приведены данные для авандельты, в знаменателе — для взморья.

повышенные содержания нефтеокисляющих бактерий в пространстве МГЭС. В целом, концентрации ΣНУ в МГЭС изменяются от минимальных значений в летний период до максимальных в зимний.

Если говорить о ЖК, то, например, в мягких тканях мидий, отобранных в сентябре 1997 г. (наиболее представительная выборка), концентрации суммы НУ колебались в диапазоне от 17,3 до 150,2 мг/кг сухой массы. Высокие концентрации от 50 до 150 мг/кг были типичны для мидий, отобранных на границе «МАКЭС – МГЭС» в наиболее загрязненном районе авандельты. Зона минимальных концентраций НУ в мидиях (17–19 мг/кг) располагалась к северу от о. Змеиный, на широте Жебриянской бухты, где регулярным является влияние водной среды Днепровско–Днестровского бассейна. Низкое накопление НУ в организмах фильтраторах на тот период может свидетельствовать об относительной чистоте (в отношении НУ) вторгающихся водных масс.

Анализ компонентного состава углеводородов в тканях мидий показал присутствие широкого спектра алифатических и ароматических компонентов и выявил четкую зональность в их распределении по площади (табл. 3.3.6).

С приближением к очагу загрязнения – Дунайской дельте в мидиях возрастают не только концентрации ΣНУ, но и увеличивается в ней доля ароматической составляющей (в среднем от 25 до 56 %). В абсолютных значениях концентрация суммы ароматических УВ в мидиях увеличивается от 5 до 100 мг/кг. Поскольку представители ароматического ряда углеводородов относятся к острым ядам, мидии этой части придунайского шельфа испытывают наибольшее влияние нефтяных токсинов.

ТАБЛИЦА 3.3.6

Район исследований	Среднее содержание НУ в тканях мидий, мг/кг сухой массы			% ароматических углеводородов от ΣНУ
	ΣНУ	Σ алифатических УВ	Σ ароматических УВ	
Дельта Дуная – меридиан о. Змеиный (8 станций)	45,638	20,113	25,524	56
К востоку от меридиана о. Змеиный (4 станции)	27,936	20,961	6,976	25

ТАБЛИЦА 3.3.7

Соединение	Концентрация НУ в мягких тканях мидий, мг/кг сухой массы			СКО	Коэффициент вариации, %
	минимальная	максимальная	средняя		
ΣНУ	3,794	6,088	4,912	1,148	23
ΣАУ	0,321	0,705	0,459	0,213	46

В открытом море в составе накапливающейся ароматики преобладают фенантрен, нафталин, 1-метилнафталин, 1-этилнафталин, флуорантен, хризен, пирен, флуорен, антрацен, 2-метилфенантрен. В мидиях из придельтового района в ароматической составляющей доминируют более высокомолекулярные углеводороды, не разделенные при анализе. Алифатические соединения во всех мидиях представлены единым гомологическим рядом от С-14 до С-34 с относительным преобладанием С-17, С-21, пристана, С-26, С-28, С-30. Такие же результаты компонентного состава мидий получены и в декабре 1998 г.

Распределение концентраций НУ в организмах мидий, как индикаторах длительного состояния вод, дает основание считать, что общее уменьшение концентраций ΣНУ в результате фильтрующего влияния дельты сопровождается увеличением в составе НУ доли ароматических соединений, более стойких к деструкции.

Распределение в мидиях НУ в декабре 1998 г. по результатам исследования моллюсков на трех станциях, где они сохранились после гипоксии предыдущего периода, представлено в табл. 3.3.7. В среднем, концентрации всех компонентов значительно ниже предыдущих данных. Возможно это объясняется тем, что на станциях отбора мидий донные осадки и придонная вода были наименее загрязнены по площади полигона.

Коэффициенты концентрации НУ в мидиях относительно донных осадков в осенний период 1997 г. (выборка 1998 г. не представительна) определены в интервале 24–300, при среднем близко 50, т. е. НУ в 50 раз больше аккумулируются в мидиях, чем в донных осадках. Причем коэффициент аккумуляции возрастает с приближением к зоне максимального загрязнения осадков. Однако прямой корреляции между содержанием углеводородов в мидиях и донном субстрате не отмечается.

Коэффициент концентрации НУ в мидиях относительно пограничного с МГЭС слоя водной среды МАКЭС составлял в среднем 18 при диапазоне колебаний 3,5–42,9. Еще более низкой была аккумуляция ΣНУ в геологической среде МГЭС. Минимальные значения коэффициента концентрации составляли 0,2, максимальные – 2,1, средние – 0,8, т. е. в осенний период аккумулирующая функция МГЭС по отношению к НУ значительно снижается. Очевидно, начинают преобладать процессы рассеивания или деструкции указанных веществ. Анализ нефтеокисляющей микрофлоры, выполненный лабораторией ОГУ для слоя осадков 0–50 см показал, что диапазон значений их НВЧ (наиболее вероятного числа) составляет 102–107 кл/г, что соответствует концентрации нефтеокисляющих бактерий в местах хронического загрязнения. Целиком противоположные коэффициенты получены для зимнего периода. Аккумуляция в МГЭС повсеместна, коэффициенты концентрации в осадках относительно воды в среднем составляют 12000 на взморье и 8000 – в авандельте.

ГЛАВА 4

Синтетические поверхностно-активные вещества и фенолы в компонентах МГЭС и МАКЭС

Детергенты не относятся к токсичным веществам, однако, их присутствие способствует проявлению синергизма (непропорционального эффекта) токсичности нефтепродуктов, ХОП и ПХБ. В первую очередь, с этих позиций следует рассматривать негативные аспекты присутствия СПАВ в среде МАКЭС и МГЭС, поскольку остальные причины (гидрофильность на поверхности раздела вода – атмосфера и др.), учитывая концентрации анионо-активных веществ в морской воде, имеют подчиненное значение.

Как видно из данных табл. 3.4.1, концентрации СПАВ как по максимальным, так и по средним значениям превышают или равны ПДК (17 станций, ПДК–0,1 мг/дм^3). Водная среда на границе «МАКЭС–МАЭС» содержит несколько больше детергентов, хотя по коэффициенту вариации насыщенность ими водной среды как у верхней, так и у нижней (с МГЭС) границе МАКЭС очень равномерна. По абсолютным концентрациям детергентов в водной среде МАКЭС акватории авандельты и взморья не наблюдается значительных расхождений, однако пространственное распределение указывает на приуроченность очагов загрязнения к струям речных вод: в авандельтовой части МАКЭС к истокам Очаковского и Старостамбульского гирл, а на взморье – к трансформированным водам Днепровско-Днестровского стока, которые прослеживались в крайней северо-восточной части изучаемой акватории. В сентябре 1997 г. загрязнение моря оценивалось по пробам, отобранным на шести станциях взморья. Слой водной среды на границе «МАКЭС–МГЭС» в это время был более загрязнен относительно слоя водной среды на границе «МАКЭС–МАЭС». Судя по коэффициенту концентрации, загрязнение имело очаговый характер. Уровень концентрации СПАВ в водной среде относительно зимней съемки 1998 г. имел существенные отличия в слое водной среды на границе «МАКЭС–МГЭС», где были зафиксированы максимальные значения концентрации де-

тергентов относительно площади акватории. При этом водная среда на границе «МАКЭС—МАЭС» в целом была менее загрязнена по сравнению с данными, полученными во время осенней съемки, что соответствует сезонному колебанию концентраций.

МГЭС шельфа Черного моря в среднем содержит детергенты в концентрациях, в 5–8 раз превышающих их средние содержание в водной среде МАКЭС. Например, илистые участки МГЭС авандельты Дуная характеризуются значениями 0,95 мг/кг, осадки мористой части – 0,68 мг/кг.

Накопление СПАВ, как катализаторов токсичности в МГЭС и высокие их концентрации в водной среде МАКЭС, свидетельствуют о необходимости включения детергентов в состав соединений, наблюдения за которыми необходимы в режиме мониторинга.

Фенолы. Летучие фенолы исследовали суммарно, без разделения на группы. Следует заметить, что фенолы полигенетичны, т. е. кроме собственно техногенного происхождения (производные химической, фармацевтической, деревообрабатывающей промышленностей, и др.) фенолы образуются в природных условиях моря в результате деструкции продуктов жизнедеятельности планктона. Причем их концентрации могут достигать значительных размеров. Вероятно, фенолы именно такого происхождения наблюдались при исследованиях, проведенных в декабре 1998 г. Из рис. 3.4.1 (см. вклейку) видно, что слои водной среды МАКЭС, с которыми ассоциирован речной сток как на границе с МГЭС, так и на границе с МАЭС были более чисты, чем массы водной среды открытого моря. Действительно, в это время там наблюдалось цветение перидиниевых и диатомовых микроводорослей, при гниении которых образуются фенолы. В фотическом (поверхностном) слое водной среды МАКЭС на ее границе с МАЭС фенолов больше, чем в слое водной среды МАКЭС на ее границе

ТАБЛИЦА 3.4.1

Район моря	Слой водной среды МАКЭС	Концентрация СПАВ в водной среде МАКЭС придунайского шельфа, мг/дм^3			СКО	Коэффициент вариации, %
		минимальная	максимальная	средняя		
Полигон в целом	поверхностный	0,070	0,160 *	0,120 *	0,02	17
	придонный	0,060	0,140 *	0,110 *	0,02	18
Авандельта	поверхностный	0,096	0,160 *	0,120 *	0,02	17
	придонный	0,060	0,130 *	0,110 *	0,03	27
Взморье	поверхностный	0,010	0,175 *	0,068 *	0,067	99
	придонный	0,03	0,230 *	0,109 *	0,07	64

* Значения, превышающие ПДК.

ТАБЛИЦА 3.4.2

Район моря	Слой водной среды МАКЭС	Концентрация фенолов в водной среде МАКЭС, мг/дм³			СКО	Коэффициент вариации, %
		минимальная	максимальная	средняя		
Полигон в целом	поверхностный	0,022	0,100	0,043	0,019	45
	придонный	0,016	0,058	0,034	0,014	41
Авандельта	поверхностный	0,023	0,052	0,030	0,012	40
	придонный	0,016	0,031	0,024	0,007	29
Взморье	поверхностный	0,022 / 0,019	0,100 / 0,038	0,048 / 0,026	0,020 / 0,007	42 / 27
	придонный	0,016 / 0,019	0,058 / 0,034	0,038 / 0,026	0,014 / 0,006	37 / 23

Примечание. В числителе приведены данные за декабрь 1998 г., в знаменателе – данные за сентябрь 1997 г. (6 станций).

с МГЭС, что объясняется активным поглощением фенолов компонентами МГЭС. По абсолютным значениям измеренные концентрации во всех случаях превышали ПДК, причем на взморье до 100 раз (табл. 3.4.2).В сентябре 1997 г. на взморье фенолов было несколько меньше (в среднем в 1,5–1,8 раз), их распределение, как в вертикальном разрезе, так и по площади характеризовалось гомогенностью (коэффициент вариации – 23–27 %) МГЭС концентрировала фенолы до значений 1,3–4,1 мг/кг, что в среднем, на два порядка превышает их содержание в водной среде МАКЭС. За счет значительного сорбционного потенциала наиболее загрязненными оказались илистые участки МГЭС авандельты Дуная. Таким образом, значительная токсичность, высокие, значительно превышающие допустимые санитарные нормы концентрации фенолов в водной среде МАКЭС исследованной акватории, активная аккумуляция их МГЭС ставят эти вещества в ряд ингредиентов, обязательных для наблюдения при мониторинге состояния МГЭС.

ГЛАВА 5

Радиоактивное загрязнение МГЭС черноморского шельфа Украины

Поступление искусственных радионуклидов в Черноморский бассейн обусловлено, в основном, как открытыми испытаниями ядерного оружия в 60-е годы XX ст., так и сравнительно недавней аварией на Чернобыльской АЭС.

Анализ литературных данных о поступлениях радионуклидов показывает, что до 1963 г. основным источником радиоактивного загрязнения Черного моря было выпадение радиоактивных продуктов из атмосферы. Суммарная активность продуктов деления, которые выпали на поверхность моря в 1960–1974 гг. составила 2,5 МКюри, в т. ч. 17,5 кКюри ^{90}Sr. Если учесть, что отношение между ^{137}Cs и ^{90}Sr в глобальных выпадениях составило 2 : 1, то на морскую поверхность из атмосферы выпало около 35 кКюри ^{137}Cs. После прекращения испытаний ядерного оружия интенсивность выпадений уменьшилась, в то время как поступление радионуклидов за счет речного стока постоянно росло и достигло в 1970 г. значения, сравнимого с атмосферными выпадениями (табл. 3.5.1)[69]. Учитывая среднегодовой сток и содержание радионуклидов ^{90}Sr в Дунайских водах, за период 1960–1968 гг. в Черное море поступило около 2 тыс. Кюри ^{90}Sr. Количество ^{90}Sr, которое поступило в Черное море со стоками Днепра в 1964 г. составило около 200 Кюри.

Вследствие аварии на ЧАЭС в окружающую среду поступило около 1900 РБк радиоактивных материалов или 3,5 % от загрузки ядерного реактора. Выброс ^{90}Sr и ^{137}Cs оценивается в 1,3–8,1 и 37–100 РБк, что составляет 0,6–5 % и 14–48 % соответственно от содержания этих радиоизотопов в аварийном реакторе [69].

В акваторию Черного моря за очень короткий промежуток времени, непосредственно после аварии, только с атмосферными выпадениями поступило 1,7–2,4 РБк ^{137}Cs [71], что составило 1,7–6,5 % от поступления этого радионуклида в окружающую среду с аварийного реактора. В последующие годы загрязнение радионуклидами происходило и происходит в ос-

новном с речным стоком, преимущественно Днепра и Дуная. Непосредственно соотношение $^{134}Cs/^{137}Cs$ равно 0,53 [72], что свидетельствует о чернобыльском источнике происхождения радионуклидов. Поступление указанных изотопов Cs привело к увеличению запаса ^{137}Cs в слое водной среды МАКЭС на границе с МАЭС в 6–10 раз, а во всем объеме МАКЭС Черного моря не менее чем в 2 раза по сравнению с доаварийным уровнем. Рассчитанный запас радионуклидов ^{137}Cs и ^{134}Cs [73], которые выпали на акваторию моря в октябре 1986 г. в результате аварии на ЧАЭС, составил 45 и 14 кКюри соответственно. По мнению авторов работы [74], в верхнем 50-метровом слое запас ^{137}Cs в это время составлял 110 кКюри, а ^{134}Cs – 42 кКюри.

Миграция радионуклидов в МАКЭС Черного моря характеризуется неравномерностью. Наиболее загрязненной оказалась северная часть черноморской МАКЭС, некоторые ее районы, граничащие с Крымскими и Кавказскими берегами, где концентрация ^{137}Cs составила 185–370 Бк/л [75].

Неравномерность распределения ^{137}Cs в 1986 г. на границе «МАЭС–МАКЭС» в западной части акватории изменилась в 1987 г. четко выраженной картиной его широтного уменьшения с севера (от Днепровского лимана) на юг (в сторону пролива Босфор). Поскольку воды Днепра и Дуная содержали намного меньше ^{137}Cs, чем черноморские воды, на протяжении последних лет в Приднепровском районе происходило разведение черноморских вод. В результате, весной 1989 г. концентрация ^{137}Cs в черноморской воде, по мере распреснения, уменьшалась. В то же время в южных районах МАКЭС Черного моря (в частности в Прибосфорском районе) она стала выше, чем в ее северных районах, испытывающих влияние Днепра и Дуная. Однако, в 1989 г. концентрация ^{137}Cs в МАКЭС Черного моря продолжала превышать ее до чернобыльский уровень на порядок.

Активное поступление ^{90}Sr в Черное море в результате Чернобыльской АЭС было зарегистрировано с конца 1986г. до начала 1987 г. С 1986 по 1995 гг. со стоками рек Днепра и Дуная в МАКЭС Черного моря поступило 115 ТБк ^{90}Sr [75]. Поступление ^{137}Cs со стоком рек Днепр и Дунай в период с 1986 по 1994 гг. составило 26 ТБк, или 1–1,5 % от количества ^{137}Cs, который поступил на границу «МАЭС–МАКЭС» непосредственно после аварии на

ТАБЛИЦА 3.5.1

Источник ^{90}Sr	Поступление ^{90}Sr, Кюри/год в бассейн Черного моря за годы до аварии на ЧАЭС				
	1960	1963	1967	1970	1973
Атмосферные выпадения	970	4500	750	615	520
Поступление с речными водами	90	590	640	620	744
Приток из Азовского моря	60	110	200	70,5	72,5
Приток из Мраморного моря	300	350	70	77	34

ЧАЭС. Это свидетельствует о том, что в отличие от ^{137}Cs, сток рек Днепр и Дунай является значительным фактором баланса Sr^{90} в экосистеме Черного моря [77].

Концентрация ^{137}Cs, метки Чернобыльской аварии, не превышала значений 1,2 Бк/м^3 для водной среды МАКЭС и 1,2 Бк/кг для геологической среды МГЭС, т. е. была на грани определения лабораторными методами.

Анализ радиоактивного загрязнения МГЭС шельфа Черного моря показал, что после аварии на ЧАЭС максимальные концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr достигали 220 Бк/кг и 45 Бк/кг сухой массы пробы соответственно [68]. По сравнению с данными о концентрации ^{137}Cs в геологической среде МГЭС до аварии, когда она составляла не более 50 Бк/кг [69], следует отметить увеличение количества ^{137}Cs в геологической среде МГЭС после аварии на ЧАЭС в среднем на порядок. Появление ^{137}Cs на границе «МАКЭС–МГЭС», рост во времени уровней его концентрации в МГЭС, а также приуроченность наибольших концентраций к илистым типам МГЭС объясняется процессами физико-химического взаимодействия растворенных форм радиоактивного цезия с дисперсными компонентами МГЭС. Благодаря этому компоненты МГЭС играют значительную роль в перераспределении радионуклидов между МГЭС и МАЭС, изменяя соотношение между ^{137}Cs и ^{90}Sr в водной среде МАКЭС, поскольку накопление радиоактивного цезия в МГЭС значительно превышает аккумуляцию в них радиоактивного стронция.

Особый вклад в радиоактивное загрязнение Черного моря радионуклидами чернобыльского происхождения вносят реки Днепр и Дунай. Радиоактивное загрязнение водосборной территории Дуная оказалось более низким и равномерным по площади, хотя в ее пределах и выявлены цезиевые «пятна», которые значительно превышают фон [80]. Существуют значительные расхождения в условиях формирования уровней загрязнения устьевой зоны реки Днепр и устья Дуная. Основным отличием двух водных систем есть степень зарегулированности их стока. Сооруженные на реке Днепр водохранилища являются, по сути, колоссальными седиментационными ловушками. Замедленное прохождение водных масс от верховьев к устью через всю емкость каскада общей длиной около 1000 км, создает идеальные условия для накопления радионуклидов (и других загрязняющих веществ) во всех компонентах экосистемы водохранилищ. Этим обстоятельством и объясняется, на первый взгляд, необычное соотношение объемов выноса радионуклидов Днепром и Дунаем после Чернобыльской аварии. Имея на своей территории несравненно высокие запасы ^{137}Cs и ^{90}Sr, река Днепр вносит в экосистему Черного моря равное с Дунаем количество ^{90}Sr и значительно меньшее количество ^{137}Cs. Речной сток Дуная до настоящего времени является основным фактором загрязнения ^{137}Cs МГЭС СЗ части шельфа Черного моря [81]. Общая картина распределения ^{137}Cs в МГЭС на границе с МАКЭС Черного моря в 1992—1995 гг. показана на рис. 3.5.1 (по данным ИнБЮМ им.А.О. Ковалевского НАН Украины). Не удивительно, что

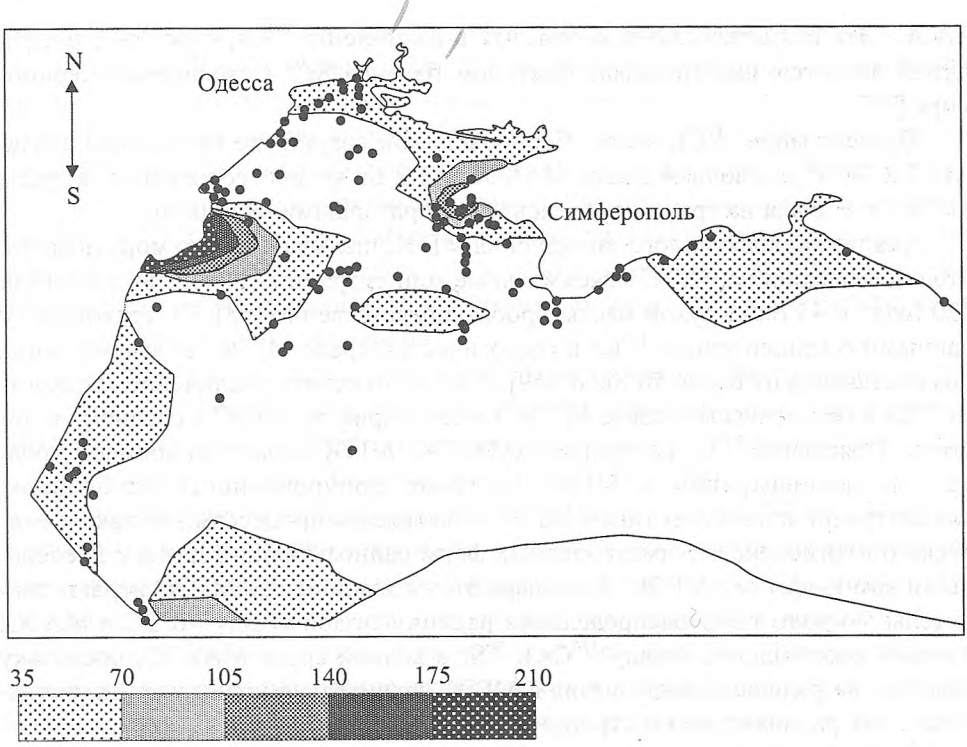
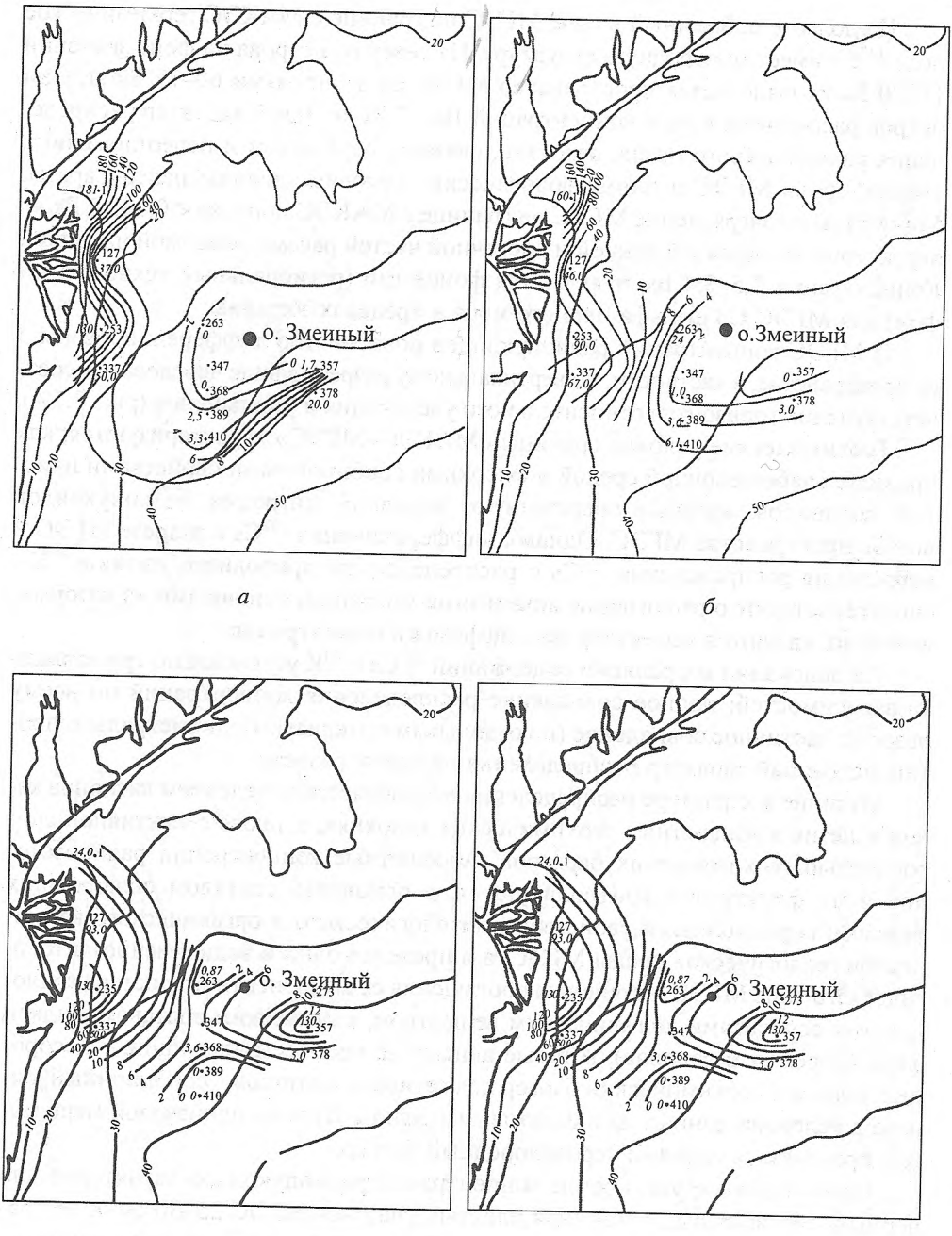


РИС. 3.5.1. Схема распределения ^{137}Cs, Бк/кг в слое МГЭС на границе МАКЭС: • — станции отбора

часть черноморской экосистемы, пространственно приуроченная к Дунайскому взморью, является наиболее загрязненной в пределах всего Черного моря.

Характер загрязнения МГЭС техногенными радионуклидами имеет ряд особенностей, к которым, в первую очередь, относятся их пространственная локализация по площади и дифференциация их концентраций в вертикальном разрезе МГЭС. Диапазон концентраций ^{137}Cs в МГЭС составляет от 0,5 до 190 Бк/кг сухой массы пробы. Максимально загрязненные ^{137}Cs участки МГЭС располагаются сегодня в пределах авандельты Дуная и в прилегающем к ней пространстве МГЭС, ограниченном изобатой 20 м, для которого характерны процессы лавинной седиментации терригенного и взвешенного материала и реализуется механизм геохимического барьера. Отмечается достаточно четкая приуроченность участков МГЭС с повышенным содержанием радионуклидов к устьям Очаковского и Старостамбульского гирл Дуная, а также Жебриянской бухты. Абсолютные значения концентраций составляют здесь 80–190 Бк/кг. Далее на восток содержание ^{137}Cs уменьшается в 3–10 раз и на уровне изобаты 25 м составляет 15–20 Бк/кг. Причем по имеющимся данным схема распределения концентраций загрязнения осадков подобна на всех горизонтах до глубины 30 см (рис. 3.5.2. см. вклейку, рис. 3.5.3).



а *б* *в* *г*

РИС. 3.5.3. Схема содержания ^{137}Cs, Бк/кг, в МГЭС придунайского района СЗ шельфа: *а, б, в, г,* соответственно интервалы, в см: 5–10; 10–15; 15–20; 25–30

На долготе о. Змеиный в слое МГЭС на границе с МАКЭС геохимическое поле ^{137}Cs имеет однородную структуру. На север от острова на фоне значений 15–20 Бк/кг выделяется пространство МГЭС со значениями 60–77 Бк/кг. Сам остров расположен в поле концентраций 10–17 Бк/кг. Такой характер распределения радиационного цезия, вероятно, связан с перемывом и переотложением твердой фазы МГЭС в геоморфологических условиях долины палео-Сараты. Минимальное загрязнение МГЭС на границе с МАКЭС порядка < 0,5–3,2 Бк/кг характерно для крайней южной и восточной частей рассматриваемой площади. Концентрации 1,5–3,4 Бк/кг являются фоновыми (региональный техногенный фон) для МГЭС СЗ шельфа Черного моря в пределах Украины.

В МГЭС концентрации радионуклидов повсеместно дифференцированы в ее пространстве, в частности, по вертикальному разрезу в виде чередования соответствующих горизонтов относительного увеличения и уменьшения (рис. 3.5.4).

Геохимические условия границы «МАКЭС–МГЭС» характеризуются, как правило, слабощелочной средой и высокими сорбционными свойствами илистых коллоидов, которые препятствуют активной миграции радионуклидов вглубь пространства МГЭС. Однако, дифференциация ^{137}Cs в разрезе МГЭС и корреляция распределения ^{137}Cs с распределением природного изотопа ^{40}K , свидетельствуют о реализации механизмов миграции, основными из которых, вероятно, являются молекулярная диффузия и биомиграция.

На основании корреляции содержаний ^{137}Cs и ^{40}K установлено три варианта зависимостей: полное совпадение распределения концентраций по всему разрезу; частичное совпадение (по отдельным интервалам); диаметрально противоположный характер распределения по всему разрезу.

Отличие в характере распределения определяется поведением катионов калия и цезия в конкретных геохимических условиях, а также селективной способностью геохимических барьеров. Абсолютные концентрации радиоизотопов и их флуктуации контролируются, в основном, составом обладающих разными сорбционными свойствами литологического и органического компонентов геологической среды МГЭС, а в пределах одного вещественно-литологического типа МГЭС – степенью обогащения ее компонентного состава коллоидными сорбентами, органическим веществом, химическим составом жидкой фазы (поровых растворов), которые влияют на процессы адсорбции – десорбции. Главный геохимический барьер для катионов изотопов – сорбционный, однако в условиях донных ландшафтов авандельты Дуная в одинаковой мере может проявляться содовый сероводородный барьер.

Относительное увеличение концентраций радионуклидов характерно для черных, обогащенных органикой илистых участков МГЭС 25–30 см от ее границы с МАКЭС. Здесь же фиксируется абсолютный максимум радиационного цезия – 190 Бк/кг. На илистых темно-серых участках МГЭС пики концентраций отмечаются на самой границе «МГЭС–МАКЭС» (слой МГЭС от 0 до 5 см), далее вниз по профилю концентрации плавно уменьшаются. Для серых и свет-

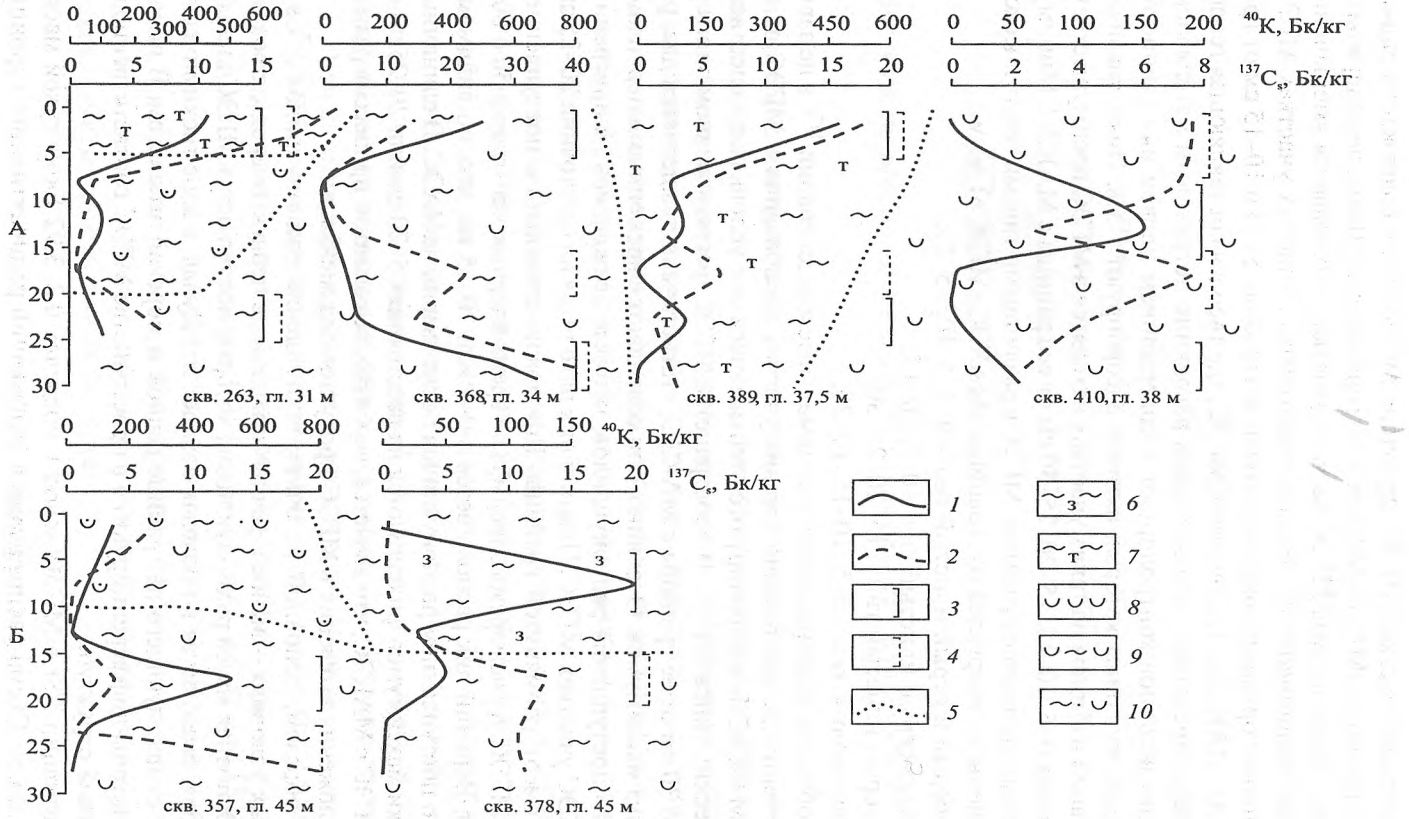


РИС. 3.5.4. Характер распределения концентраций ^{40}К, ^{137}Cs в разрезе МГЭС (придунайский район):*1*– ^{137}Cs; *2*– ^{40}К; *3*– интервалы аккумуляции ^{137}Cs; *4*– интервалы аккумуляции ^{40}К; *5*–литофациальная граница; *6*– ил зеленовато-серый, серый, мягкий; *7*– суглинок серый, очень плотный; 8– ил темно-серый, пластичный; *9*– ракушечник; *10*– ракушечник, детрит илистый; А, Б– меридианальный профиль соответственно на запад от о. Змеиный и по изобате 45 м

ло-серых илистых участков МГЭС характерно увеличение содержания радионуклидов от границы «МГЭС–МАКЭС» до горизонта 5–10 см, где содержания максимальны. Далее в глубь МГЭС на этих участках наблюдается уменьшение концентраций радионуклидов. На зеленовато-серых илистых участках МГЭС аккумулятивные горизонты наблюдаются в интервалах 5–10 и 10–15 см от границы «МГЭС–МАКЭС». На участках МГЭС, где твердая составляющая геологической среды представлена в основном раковинно-детритовым материалом, концентрации изотопов контролируются содержанием иловой или глинистой составляющей, коллоиды которых активно адсорбируют ^{137}Cs. Пики максимумов содержаний изотопов на таких участках находятся в МГЭС преимущественно в интервалах 0–5, 10–15, 15–20, 25–30 см от ее границы с МАКЭС. Минимумы содержаний изотопов на участках МГЭС с различными типами геологической среды отмечены в интервалах (от границы «МАКЭС–МГЭС»), в см.:

светло-серый и серый илистый тип – 0–5, 5–10, 15–25;
зеленовато-серый илистый тип – 0–5, 10–15;
темно-серый илистый тип – 15–20, 25–30,
ракушечниковый тип – 0–5, 10–15, 15–20.

Таким образом, максимальные и минимальные концентрации ^{137}Cs не зависят от расстояния до месторасположения участка опробования в МГЭС от ее границы с МАКЭС, а контролируются геохимическими условиями вещественно-генетических типов МГЭС. В пространстве МГЭС, расположенном в интервале от 0 до 30 см от ее границы с МАКЭС, статистически выделяется два, реже – три пика максимумов. Очевидно, они совпадают с временными периодами наибольшего поступления радионуклидов, которые осаждались на приграничных с МАКЭС участках МГЭС. Нижний пик находится на расстоянии 20–25 см, или 25–30 см от упомянутой границы. Его можно связывать с поступлением изотопов в МГЭС черноморского шельфа во время ядерных испытаний 50 – 60-е годы XX ст. Верхний пик располагается в 0–5 или 10–15 см, что, по-видимому, обусловлено поступлением радионуклидов после аварии на ЧАЭС. В единичных случаях пики максимумов фиксируются на расстояниях 5–20 см или 20–25 см от границы МГЭС с МАКЭС, что является, вероятно, результатом процессов размыва и переотложения входящих в МГЭС продуктов седиментации.

Таким образом, основной источник поступления радионуклидов ^{137}Cs в современных условиях – вынос с речными водами, в первую очередь, с водами р. Дунай. Основная масса радионуклидов, которые поступают в МГЭС шельфа Черного моря, осаждается в пределах авандельты Дуная, в зоне геохимического барьера, существующего на границе речной и морской экосистем. В последующем, изотопы дифференцируются в пространстве МГЭС соответственно ее геохимической структуре.

Концентрации ^{90}Sr в МГЭС лежат в пределах 0,2–3,92 Бк/кг сухой массы ее твердой фазы. Схема распределения содержаний радиоактивного стронция в МГЭС на границе с МАКЭС отличается от таковой же схемы для радиоак-

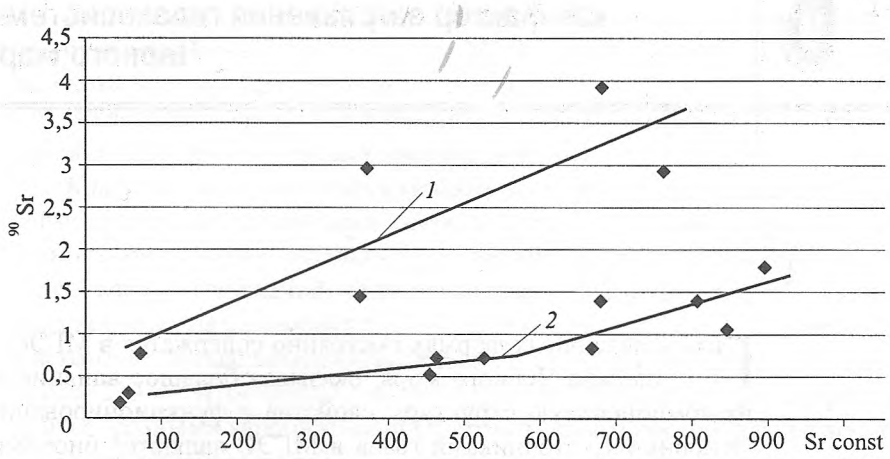


РИС. 3.5.6. Корреляция содержания в МГЭС стабильного *1* и радиоактивного *2* стронция: ♦ — ^{90}Sr

тивного цезия, что связано с отличиями в геохимических свойствах этих двух изотопов (рис. 3.5.5 см. вклейку). Являясь геохимическим аналогом кальция, стронций не осаждается в пределах геохимического барьера «река – море», а принимает участие в процессах осадочного карбонатонакопления. На ракушечниковых, раковинно-детритовых песчаных с разной степенью заиленности участках МГЭС концентрация ^{90}Sr на порядок выше их концентраций в илистых пробах.

Отмечается положительная корреляция концентраций в МГЭС стронция стабильного и ^{90}Sr. На фоновых участках (концентрация радиоактивного стронция 0,2–2,0 Бк/кг) из всего стронция (валового) 0,17–0,21 % составляет ^{90}Sr, на аномальных (концентрация радиостронция 2,0–3,92 Бк/кг) доля ^{90}Sr возрастает до 0,5 %, что хорошо видно на рис. 3.5.6, где четко выделяется область фоновых (кривая *2*) и аномальных (кривая *1*) концентраций радиостронция.

Размыв и переформирование в разной мере загрязненной геологической среды МГЭС при активизации литодинамических процессов в штормовых условиях приводит к регулярному перераспределению содержаний техногенных радионуклидов в пространстве МГЭС, так и между МГЭС и МАКЭС. Дальнейшие исследования в режиме мониторинга динамики изотопов как составляющей геоинформационного поля и трассеров ландшафтно-геохимических процессов, позволят адекватно всесторонне оценить изменения состояния МГЭС под влиянием радиоактивных веществ.

ГЛАВА 6

Аномальные газовые выделения как фактор загрязнения геоэкосистемы Черного моря

Газы в различных формах постоянно содержатся в МГЭС, в т. ч. шельфа Черного моря, оказывая большое влияние на их компонентную структуру, свойства и функционирование. Основными источниками газов в МГЭС являются биохимические процессы, которые происходят при температуре и давлении, допускающих осуществление жизненных функций организмами ЖК, прежде всего в самой этой системе, а также в соседних МАКЭС и МАЭС. Другой важный источник газовых элементов для МГЭС – газы подводного вулканизма. Как будет показано ниже, на МГЭС Черного моря значительное влияние оказывают продукты подводного грязевого вулканизма. В отдельных районах шельфа Украины и континентального склона в соответствующие МГЭС из глубинных слоев земной коры по разломным зонам могут поступать газообразные продукты дегазации гранитных расплавов. Газы также могут мигрировать в МГЭС, в частности, черноморского шельфа Украины, из нижележащих толщ палеогеоэкосистем, причем количество и состав поступающих газов зависят от мощности и состава этих толщ. Особенно интенсивно и в больших количествах газы поступают в МГЭС черноморского шельфа из нижележащих отложений вблизи устьев крупных рек, палеорек, а также у основания континентального склона, где мощности осадочных отложений часто достигают нескольких километров [82, 83].

Газовые компоненты могут мигрировать в пространстве черноморской МГЭС и в подстилающей их толще осадочных пород как совместно с жидким и ЖК, их элементами или самостоятельно. Они могут выдавливаться из МГЭС при ее постепенном уплотнении в процессе диагенеза, перемещаясь по порам и каналам. При миграции газового компонента происходит его частичная дифференциация, обусловленная различием в физико-химических свойствах составляющих его элементов.

Остановимся несколько подробнее на описании аномальных газовых выделений, обнаруженных при изучении МГЭС Черного моря, которые несомненно являются одним из факторов ее загрязнения.

В настоящее время выявленные объекты аномального газовыделения обособляют три группы газовых проявлений.

К первой группе относятся газовые выделения установленной биогеохимической природы, генетически связанные с выделением метановых газов в результате разложения органического вещества древнечерноморских глинисто-сапропелевых отложений, возраст которых 3,5–7,0 тыс. лет [83]. Газовые сипы локализуются на различных глубинах, от менее чем 50 м, в интервале 50–100 м, а некоторые аномальные газовыделения были обнаружены на глубинах 176–180 и 226–230 м. В основной массе источники газовыделения сопровождаются плитообразными карбонатными (арагонитовыми) постройками с дендритовидными наростами высотой 0,3–1,0 м. Стенки построек покрыты колониями метанотрофных бактерий мощностью до 2–3 см. Состав газов типичен для биохимического типа газовыделений: в основном это метан и его гомологи. Карбонатные постройки, по-видимому, возникли вследствие биохимического окисления углеводородных газов, в основном метана, что подтверждается данными изотопных исследований [84].

Органическое вещество бактериальных построек отличается легким изотопным составом углерода: $\delta\ ^{13}C$ колеблется от 7,5 до 8,3 ‰ [85].

Ко второй группе относятся газовые факелы, являющиеся следствием глубинной дегазации недр и локализующиеся в региональных тектонически ослабленных зонах [85,86]. Газовые факелы этой группы расположены на внешнем шельфе и континентальном склоне Черного моря. Экспедициями НИС «Киев» установлено, что газовые источники приурочены к тектонически ослабленным зонам, сопровождаемым процессами криптодиапиризма, общего смятия и дробления пород. Это подтверждается результатами сейсмоакустических исследований [87]. Максимальная глубина развития газовыделяющих структур этого типа по разрезу в пространстве МГЭС не установлена, но по результатам сейсмопрофилирования составляет не менее 500 м. Основная масса факелов приурочена к полосе перехода внешнего шельфа к континентальному склону и его перегибу. Глубины расположения выявленных в рейсе НИС «Киев» газовых факелов варьируют от 51 до 650 м. Высота выбросов факелов пропорциональна глубинам их расположения, наиболее высокие выделения от 150 до 250 м и выше расположены на более глубоких отметках, а факелы высотой от 10–50 и до 100 м чаще всего расположены на сравнительно небольших глубинах.

Поля газовыделяющих структур в СЗ части шельфа и на континентальном склоне, состоят из сменяющих друг друга возвышенностей и депрессий. Понижения представлены перемятыми и трещиноватыми МГЭС, смятыми в пологие синклинальные складки. Центральные их части осложнены кольцевыми разрывами, а слоистые горизонты разорваны и содержат вертикальные каналы

проникновения газовых струй. В местах распространения возвышенностей формы МГЭС напоминают интенсивно дислоцированные асимметричные конические сопки грязевых вулканов, осложненные «кальдерами», а моноклинальная слоистость МГЭС местами перемята и раздроблена. Рядом исследователей [86] отмечено, что выявленные структуры не обладают всеми признаками грязевулканических очагов – эруптивных аппаратов грязевого вулканизма. Компонентный состав МГЭС на участках газовых полей представлен полужидкими илами (фазеолиновыми и мидиевыми) голоценового возраста с включениями литификатов и прослоев алеврито-илистого состава мощностью 0,3–0,5 м. Литификаты сцементированы карбонатным веществом продуктов окисления углеводородов, и содержат литифицированный раковинный материал преимущественно мидиевого состава. Здесь же отмечена локализация колоний крупных живых мидий, достигающих размеров до 15 см.

Газовые факелы района Керченско-Таманского сектора шельфа Черного моря расположены в обширной области палеодельты р. Дон субширотного простирания шириной 8–10 миль на глубинах от 100 до 636 м. На восточном фланге локализуются маломощные факелы, небольшая часть из которых достигает высоты 170 м, западный фланг характеризуется большей интенсивностью газопроявлений, факелы которых достигают высоты 231,4–292,9 м. К настоящему времени выявлено около 114 газовых факелов. Газы сосредоточены в песчано-алевритовых прослойках МГЭС, перекрытых глинистыми компонентами. Содержание метана колеблется от 1 мг/кг осадка, гомологов метана – до сотых долей мл/кг [88]. По данным работы [89] содержание углеводородных газов в струях, мигрирующих в МАКЭС колеблется от 8×10^{-4} до 340×10^{-4} мл/л.

Газовые выделения Керченско-Таманского сектора полигенны: часть из них генетически имеет биогенное происхождение и связана с анаэробной генерацией метана в МГЭС (первая группа); другая часть газовых струй, обязана своему проявлению структурно-геологическим особенностям района и генетически связана с глубинными источниками дегазации [90].

К третьей группе отнесены газовые фонтаны, обнаруженные у подножья континентального склона ЛПМ и в районе грязевого вулкана Двуреченского [91]. Они также имеют глубинные источники дегазации, но по своим гигантским масштабам газовыделения связаны, очевидно, с надпорядковыми структурами эндогеодинамической активизации.

Газовые факелы подножья континентального склона в области ЛПМ, расположены на глубине около 1500 м. Карбонатные новообразования на близлежащих участках МГЭС генетически связаны с этими газопроявлениями. При подводном обследовании таких участков наблюдались карбонатные плиты и трубообразные наросты, расположенные непосредственно на скальном основании морского дна. Исследования изотопного состава углерода карбонатных сооружений ЛПМ показали, что для построек развитых на глубинах 1700 м характерен тяжелый углеводород ($\delta^{13}C$ колеблется от 8,2 до 8,5 ‰), что свиде-

тельствует о глубинной природе источника дегазации. По-видимому в пределах тектонически активных блоков происходило внедрение метана в верхние структурные этажи МГЭС, а более тяжелые углеводороды оставались на нижних структурных уровнях. При этом метан окислялся на нижних этажах биохимическим путем, а тяжелые остаточные углеводороды нижних уровней – химическим, что и предопределило различный изотопный состав карбонатных построек [92].

В 56 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» при драгировании склона была обнаружена и поднята на борт судна крупная постройка так называемого «метанового курильщика», имеющая вид пустотелого карбонатного ствола диаметром от 15 до 40 см и длиной до 1,5 м. Всестороннее исследование этого образования подтвердили сделанный ранее вывод о том, что «карбонатные корки и постройки – следствие дегазации недр», а происхождение факелов за счет разложения органического вещества в четвертичных отложениях связано только с маломощными проявлениями газовых выделений на ограниченных участках шельфа [93].

Наиболее крупными объектами аномального газовыделения к настоящему времени являются два газовых фонтана, выявленные по результатам 57 рейса НИС «Профессор Водяницкий» в районе вулкана «Двуреченский» на глубине около 2000 м [91]. Уникальной особенностью этого газопроявления является его сопряженность с проявлениями грязевого вулканизма и газогидратов. Диаметр поля газовых фонтанов составляет около 400 м при его высоте до 850 м. Прилегающая площадь морского дна покрыта черепицеподобными карбонатными корками, пронизанными сквозными отверстиями и перекрывающими газонасыщенные илы. Среди поднятых обломков встречаются фрагменты трубчатых форм «метановых курильщиков». Поднятые илы бурно «кипели» и характеризовались необычно низкими температурами, свойственными газогидратам. Определение стабильных изотопов $\delta^{13}C$ показало утяжеленные значения: для плоских корок – 28,5, вертикальных наростов – 28,6, бактериальных матов – 40,1 ‰. Исходя из данных радиоуглеродного датирования (Институт окружающей среды НАНУ, аналитик Н.Н. Ковалюх) возраст карбонатных корок составляет 5200 ± 120 лет, курильщиков – 3500 ± 140 лет в верхней части и 4300 ± 140 лет, возраст бактериальных матов – 320 ± 90 лет.

В составе обломков горных пород, распространенных на данном участке, преобладают гомогенные и слоистые глины, встречены также обломки светлых известняков и аргиллитов. В сопочной брекчии подводных грязевых вулканов установлено присутствие газогидратов. В геологическом отношении этот участок расположен в зоне интенсивно дислоцированной диапировой складчатости центральной части прогиба Сорокина. В строении складок участвуют отложения плиоцена мощностью от 0,2 до 1 км и миоцена мощностью до первых сотен метров. Общая же мощность майкопских отложений в прогибе достигает 5–6 км.

Подытоживая исследования уровней концентраций и дифференциации загрязняющих веществ в компонентах МГЭС черноморского шельфа Украины, в особенности ее придунайской части, подчеркнем, что в определенной степени исследованы и охарактеризованы так называемые «рутинные» концентрации загрязнителей. Однако известны залповые выбросы практически всех перечисленных загрязняющих веществ в экосистему Черного моря в результате аварий на предприятиях, особенно расположенных в бассейнах крупных рек. В этом случае загрязнение стремительно возрастает. Своевременное фиксирование загрязнения и его последствий с расчетом ущерба должно стать фрагментом национальной природоохранной политики нашего государства в отношении исключительной экономической зоны Украины в Черном море.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мединец В.И., Колосов А.А., Колосов В.А.* Токсичные металлы в морской среде // Исследование экосистемы Черного моря. – Одесса: Ирэн-Полиграф, 1994. – С. 47–53.
2. *Стан* довкілля Чорного моря: Нац. доп. України за 1996 – 2000 роки. – Одеса: Астропринт, 2000. – С. 40.
3. *Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В.* Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. – С.– Пб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 304 с.
4. *Митропольский А.Ю, Безбородов А.А Овсяный И.И.* Геохимия Черного моря. – К.: Наук. думка, 1982. – 144 с.
5. *Некоторые* особенности осадконакопления в северо-западной части Черного моря/ С.Я. Черноусов, В.М. Морозов, И.А. Соловых и др. – К.: ИГН АН УССР, 1987. – 55 с.
6. *Юровский Ю.Г., Юдин В.В., Марценюк Е.Е.* Выполнить региональную оценку состояния геологической среды в пределах рекреационных комплексов на побережьях Черного и Азовского морей: Отчет о НИР / Госкомгеология, УкрГИМР; № 0194U026331. – Симферополь, 1995. – 212 с.
7. *Глаголева М.А.* К геохимии осадков Черного моря // Современные осадки морей и океанов. – М.: АН СССР, 1961. – С. 448–476.
8. *Добровольский В.В.* Глобальные циклы миграции тяжелых металлов в биосфере // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. – М.: Наука 1988. – С. 4–13.
9. *Особенности* геоэкологических исследований морских отложений // Геоэкология рекреационных зон Украины / Под ред. О.П. Кравчука – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1996. – С. 79–86.
10. *Хрустав Ю.П., Ганичева Л.З., Волкова З.Н.* Геохимия взвеси Азовского моря // Географические аспекты изучения гидрологии и гидрохимии Азовского бассейна. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – С. 76–78.
11. *Огляд* результативності природоохоронної діяльності: Європейська економічна комісія. – Нью-Йорк, Женева: Комітет Екологічної Політики ООН, 2000. – 232с.
12. *Пунько В.П.* Геотоксикология водных систем г. Одессы // Геоэкология рекреационных зон Украины. – К.: Изд-во Киев. ун-та,1996. – С. 153–161.
13. *Ларченков Е.П., Чередниченко А.П.* Влияние геологических процессов на экологическое состояние северо-западного шельфа Черного моря // Геоэкология рекреационных зон Украины. – К.: Изд-во Киев. ун-та,1996. – С. 71–78.
14. *Биогеохимический* цикл тяжелых металлов в экосистеме Нижнего Дона / Под ред. Ю.П. Хрусталева. Ростов-на-Дону: Рост. ун-т, 1991. – 111 с.

15. *Фащук Д.Я.* Географо-экологическая модель морского водоема: Автореф. дис. д-ра геол. наук: 20.11.97 / ИГРАН, – М., 1997. – 46 с.
16. *Фесюнов О.Е., Шапран С.Д., Иванов Г.И.* Геоэкологическая обстановка в районе Одесского залива // Геоэкологические исследования: Состояние и перспективы. – К.: 1995. – Ч. 2. – С. 53–55.
17. *Назаренко М.Ф.* Загрязнение грунтов дноуглубления в портах северо-западного Причерноморья // Геоэкологические исследования: Состояние и перспективы. – К.: 1995. – Ч.2. – С. 55– 58.
18. *Мур Дж.В., Рамамурти С.* Тяжелые металлы в природонных водах / Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 310 с.
19. *Добровольский В.В.* Глобальные циклы миграции тяжелых металлов в биосфере // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. – М.: Мысль, 1988. – С. 4–13.
20. *Добровольский В.В.* География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 271 с.
21. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. – Л.: Гидрометиздат, 1989. – 351 с.
22. *Сучков И.А., Фесюнов О.Е.* Антропогенная седиментация в пределах северо-западного шельфа Черного моря // Геоэкология рекреационных зон Украины. – К.: Изд-во Киев. ун-та,1996. – С. 87–90.
23. *Добровольский В.В.* Тяжелые металлы: загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М.: Моск. ун., 1980. – С. 3–12.
24. *Морозов Н.П., Патин С.А., Никоненко Е.М.* Микроэлементы в воде, взвесях и гидробионтах Черного моря // Геохимия. – 1976. – № 9. – С. 1391–1399.
25. *Анализ* территориального распределения береговых источников загрязнения. Определение количественных и качественных характеристик загрязнения морской среды, производимого объектами суши: Разработать технологию управления развитием окружающей среды в граничной зоне «море-суша» на основе математического моделирования и мониторинга за период 1991–1995 гг.: Отчет по НИР / СОПС. – К., 1986. – 245 с.
26. *Гидрометеорология* и гидрохимия морей СССР: Черное море, Современное состояние загрязнения. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1996. Т. IV– Вып. 3 – 230 с.
27. *Стан* навколишнього природного середовища в Україні у 1999 році. Нац. доп. – К.: Укр. транспорт. ун-т, 2000. – 184 с.
28. *Результаты* мониторинговых исследований на комплексе эксплуатационных МСП северо-западного шельфа Черного моря / Под ред. Э.П. Тихоненко – Симферополь, ОНМЦ «Морэкогеология», 1998. – 50 с.
29. *Котляров А.А., Казаков А.Л., Тысячная В.В.* Организация и ведение мониторинга качества морской воды на объектах морехозяйственного комплекса // Экологические проблемы и особенности эксплуатации береговых объектов морехозяйственного комплекса Украины. – Одесса, ОЦНТИ, 2000. – С. 33–36.
30. *Петру А.* Промышленные сточные воды. – М.: Стойиздат, 1965. – 334 с.
31. *Тяжелые* металлы как потенциально токсичные химические вещества и загрязнение окружающей среды / Под ред. В.В. Добровольского – К.: Знання, 1990. – 19 с.
32. *Хільчевський В.К.* Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра. – К.: Вид-во Київ. у-нта, 1996. – 222 с.
33. *Охорона* навколишнього природного середовища в Україні (1994–1995 роки). – К., Вид-во Раєвського, 1997. – 95 с.
34. *Стан* навколишнього природного середовища в Україні у 1998 році. Нац. доп. – К.: Укр. транспорт. ун-т, 1998. – 161 с.
35. *Исследование* современного состояния экосистемы Каркинитского залива с целью обоснования сбросов дренажно-сбросных вод в 4-ю очередь СКК.: Отчет ОНИР / ЮГНИРО, – Керчь, 1992. – 221 с.

36. *Перельман А.И.* Геохимия.– М.: Высш. шк., 1989. – 527 с.
37. *Прокофьев А.К.* Химические формы ртути в морской воде // Химическое загрязнение морской среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – С. 100 – 111.
38. *Океанология*: химия океана. – М.: Наука, 1979. – Т.1. – 518 с.
39. *Справочник* по климату Черного моря / Под ред. А.И. Соркиной – М.: Гидрометеоиздат, 1974. – 406 с.
40. *Рамад Франсуа*. Основы прикладной экологии / Пер. с франц. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 544 с.
41. *Башкирцева Е.В., Степаняк Ю.Д.* Динамика тяжелых металлов в донных осадках районов геологоразведочных и добычных работ нефтегазового комплекса // Экологические проблемы Черного моря. – Одесса: ОЦНТИ, 2002. – С. 25–31.
42. *Орлова И.Г., Павленко Н.Е., Коморин В.Н., Бондарь С.Б.* Современное состояние химического загрязнения северо-западного шельфа Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 2001 – С. 139–153.
43. *Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И.* Геохимия Черного моря / Под ред. Е.Ф. Шнюкова. – К.: Наук. думка, 1982. – 143 с.
44. *Митропольский А.Ю., Еремеева Л.В.* Роль геохимических барьерных зон в процессах современного осадкообразования в Черном море // Изучение геологической истории и процессов современного осадкообразования Черного и Балтийского морей. – К.: Наук. думка, 1984. – Ч. 2. – С. 64–69.
45. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза. – М.: АН СССР, 1960. – Т. 1. – 210 с.
46. *Степаняк Ю.Д.* Некоторые особенности дифференциации хлорорганических соединений в экосистеме северо-западного шельфа // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 2001. – С. 260–268.
47. *Осокина Н. П.* Пестициды в донных отложениях Азово-Черноморского бассейна и их влияние на экологическое состояние акватории: Автореф. дис. канд. геол. наук: 17.10.96 / ИГН, – К., 1996. – 165 с.
48. *Усенко В.П., Насєдкін Є.І.* Вплив меліорації земель на забруднення Джарилгацької затоки Чорного моря: Меліорація і водне господарство № 89. – К.: Аграрна наука, 2003. – С. 183–193.
49. *Патин С.А.* Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 309 с.
50. *Бобовникова Ц.И., Вирченко Е.П., Малахов С.Г.* Оценка некоторых элементов глобального баланса хлорорганических пестицидов в природных средах // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей среды. Тр. II Междунар. симпоз., СССР: Тбилиси, 12–17 октября 1981. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – С. 27–28.
51. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 528 с.
52. *Роотс О.О.* Полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды в водах Балтийского моря в период 1976 – 1984 гг. // Тр. ИПГ, – М.: Гидрометеоиздат, 1991. – Вып. 74. – С. 17–26.
53. *Briugman L., et. al.* Some aspects of the distributions of some pollutant in the Baltic 1980 and 1981. – JCES, C.M., 1979/c: 61. Ernst W., Effects of pesticides and related organic compounds in the sea. – Amsterdam: Helgolander Meercsunters,1980. – V.33. – P. 301–312.
54. *Орлова И.Г.* Хлорированные углеводороды в экосистеме Черного моря // Исследование экосистемы Черного моря. – Одесса: Ирен-полиграф, 1994. – С. 36–46.
55. *Михалева И.М., Черняк С.М.* Исследования по разработке метода определения хлорированных углеводородов и эфиров фталевой кислоты в морской взвеси: Тр. ГОИН. – М.: Гидрометеоиздат, 1987. – Вып. 187. – С. 147.

56. *Andrulewich E., et. al.* Some aspects of the chemical composition of particulate matter in the Southern Baltic/ -JCES, CM., 1979/c: 9, Hydrography, P. 8–12.
57. *Зайцев Ю.П., Головенко В.К.* Черноморская мидия и ДДТ // Экологические последствия загрязнения океана // Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 1983. – С.180–208.
58. *Поликарпов Г.Г.* Радиоэкология морских организмов. – М.: Атомиздат, 1964. – 127 с.
59. *Орлова И.Г.,* Хлорированные углеводороды в морских экосистемах. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 107 с.
60. *Патин С.А.* Эколого-токсикологические аспекты загрязнения морской среды // Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1995. – 117 с.
61. *Гидрология* и гидрохимия морей // Современное состояние загрязнения вод Черного моря / Под. ред. А.И. Симонова, А.И. Рябинина. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика, 1993. – Т. IV. – Вып. 3. – 203 с.
62. *Орлова И.Г.* Хлорированные углеводороды в морских экосистемах. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 107 с.
63. *Герлах С.* Загрязнение морей. Диагноз и терапия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 263 с.
64. *Деньга Ю.М., Зарубин Ю.В., Трескунов Б.О.* Загрязнение Черного моря нефтью и нефтепродуктами // Исследование экосистемы Черного моря. – Одесса: Ирэн-полиграф, 1994. – С. 24–29.
65. *Семенов А.Д., Павленко Л.Ф., Стародомская А.Г.* ИК-спектрофотометрические методы определения нефтепродуктов в поверхностных водах // Методы определения загрязняющих веществ в поверхностных водах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – С. 47–52.
66. *Гидрология* и гидрохимия морей // Современное состояние загрязнения вод Черного моря // Под. ред. А.И. Симонова, А.И. Рябинина. – Севастополь: Экоси-Гидрофизика. – 1993. – Т. IV. – Вып. 3. – 203 с.
67. *Воробьев В.А., Деньга Ю.М.* Полициклические ароматические углеводороды в экосистеме Черного моря // Исследование экосистемы Черного моря. – Одесса: Ирэн-полиграф, 1994. – С. 30–35.
68. *Стан* довкілля Чорного моря в Україні. Нац. доп. – Одеса: Астропринт, 2002. – 80 с.
69. *Исследование* радиоактивного загрязнения Азово-Черноморского бассейна вследствие аварии на ЧАЭС // Исследование экосистемы Черного моря / В.И. Мединец, В.И. Лепешкин, В.Г. Соловьев, Л.П. Фетисов. – Одесса: Ирен-полиграф, 1994. – С. 68–81.
70. *Gudiksen P.H., Harvey T.F., Lange R.* Chernobyl source term estimation // Comparative Assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl.-Luxembourg, 1990. – (Report EUR 13574). – P. 93–112.
71. *Modelling* large-scale Contaminations of the Black Sea caused by long-lived radionuclides of ^{137}Cs and ^{90}Sr following the Chernobyl accident // Comperative Assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents / V.N. Egorov, G.G. Polikarpov, L.G. Kulebiakina, N.A. Stokozov, ets.: Kyshtym,Windscale, Chernobyl.-Luxembourg,1990. – (Report EUR 13574). – P.649–664.
72. *Livingston H.D., Buesseler K.O., Izdar E., Konuk T.*, Characteristics of Chernobyl fallout in the southern Black Sea // Radionuclides: a tool for oceanography. – Elsevier, Essex, U.K, 1988. – P. 204–216.
73. *Радиоактивное* загрязнение Черного моря вследствие аварии на Чернобыльской АЭС по состоянию на октябрь 1986 г. / А.И. Никитин, В.И. Мединец, В.Б. Чумичев и др. – М: Атомная энергия,1988. – 65. Вып. 2. – С. 134–137.
74. *Радиоактивные* исследования Черного моря / Г.Ф. Батраков, В.Н. Еремеев, А.Д. Земляной и др.: – Препр. /АН УССР. МГИ. – Севастополь, 1989. – 73 с.
75. *Kulebiakina L.G., Polikarpov G.G.* Radioecological monitoring of the Black Sea Basin following of the Chernobyl NPP Accident // Comperative Assessment of the environm. impact

of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl. – Luxembourg, 1990. – (Report EUR 13574). – P. 607–648.

76. *Voitsekhovich O.V., Borzilov V.A., Konoplev V.A.* Hydrological aspects of radionuclides migration in water bodies following the Chernobyl accident // Comperative Assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl. – Luxembourg, 1990. – (Report EUR 13574). – P. 527–549.
77. *Kulebiakina L.G.* Radioecological investigations in the Black Sea oxic zone (1986–1989) // Molismology of the Black Sea. Elsevier, Essex, U.K. – 1988. – P. 204–216.
78. *Distribution* of artificial radionuclides in water, bottom sediments and hydrobionts of the Black Sea Black Sea following the Chernobyl NPP...//European Commission Radiation Protection 70: MARINA-MED project / V.N. Egorov, G.G. Polikarpov, N.A. Stokozov ets. – Brussels-Luxembourg, 1995. – P. 363 – 391 and 557 – 583.
79. *Кулебякина Л.Г., Зесенко А.Я.* Динамика загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs воды и гидробионтов в дельте Дуная и прилегающей части Черного моря // Морская радиогеохимэкология и проблема загрязнений. – К.: Наук. думка,1984. – С. 16–40.
80. *EUR-1996 Atlas* of cesium deposition on Europe after the Chernobyl accidents. Report 16733, office of publication. – Luxembourg: 1996. – P. 132–145.
81. *Egorov V.N., Polikarpov G.G., Kulebiakina L.G.* ets. Present and protected radioactive contamination of the Black Sea from the Chernobyl reactor accidents // Environmental contamination in Central and Eastern Europe. – Budapest 12 – 16 October 1992. – P. 353–355.
82. *Биогеохимия океана* / Под ред. А.С. Монина, А.П. Лисицына. – М.: Наука, 1985. – 368с.
83. *Явления* активного газовыделения из поднятий на свале глубин западной части Черного моря / Г.Г. Поликарпов, В.Н. Егоров, А.И. Нежданов и др. // ДАН УССР. – Сер. Б. Геол., хим. и биол. науки. – 1989. – № 12. – С. 13– 15.
84. *Шнюков Е.Ф., Щербаков И.Б., Шнюкова Е.Е.* Палеоостровная дуга севера Черного моря. К.: Чернобыльинтерформ, 1997. – С. 257–258.
85. *Газовыделяющие* постройки на дне северо-западной части Черного моря / В.Х. Геворкьян, В.И. Бураков, Ю.К. Исагулов и др. // ДАН УССР. – № 5. – 1991. – С. 80–85.
86. *Газовые* факелы на дне Черного моря / Е.Ф. Шнюков, А.А. Пасынков, С.А. Клещенко и др. – К.: ПП Гнозис, 1999. – 133 с.
87. *Геология* Черного моря (По результатам геологических и геофизических исследований 5-го рейса НИС «Киев») / Под ред. Е.Ф. Шнюкова, А.А. Щипцова – К.: ОМГОР ННПМ НАНУ, 1997. – 190 с.
88. *Газоносные* четвертичные отложения прикерченской части Черноморского шельфа и их связь с прибрежными литофациями / К.М. Шимкус, В.Н. Москаленко, В.Б. Райен, В.К. Питман: Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. – 1998. – 73. – Вып. 4. – С. 51–55.
89. *Глебов А.Ю., Кругляков Р.П., Шельтинг С.К.* Естественное выделение углеводородных газов в Черном море // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 38. – С. 19–23.
90. *Газовые* факелы на Керченско-Таманском взморье / Е.Ф. Шнюков, А.А. Пасынков, С.А Клещенко, Ю.Г. Артемов, В.Н. Егоров, С.Б. Гулин // Геофиз. журн. – 2003. – № 2 – Т. 25 – С. 161–169.
91. *Крупнейший* газовый фонтан Черноморской впадины / Е.Ф. Шнюков, А.А Пасынков, С.А. Клещенко, В.А. Кутний // Геофиз. журн. – 2003 – № 2. – Т. 25 – С. 170–176.
92. *Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Кутний В.А.* Необычные карбонатные постройки континентального склона северо-западной части Черного моря – вероятное следствие дегазации недр // Литология и полез. ископаемые. – 1995. – № 5. – С.451–461.
93. *Шнюков Е.Ф., Кутний В.А.* Карбонатные образования как производные газовых выделений на дне Черного моря // Геофиз. журн. – 2003. – № 2. – Т. 25 – С. 90–99.

РАЗДЕЛ 4

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И РАЙОНИРОВАНИЕ ГЕОЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

Важнейшими проблемами, тесно связанными с пространственно-временными аспектами изучения геоэкосистем черноморского шельфа Украины, современного состояния МГЭС донных отложений, с особенностями их компонентной структуры, в частности, структуры подсистемы ЖК, являются подходы к их дифференциации и районированию. В настоящем разделе кратко изложены основные подходы, определяющие методологию морской геоэкологии в решении проблемы дифференциации геоэкосистем черноморского шельфа Украины, в частности МГЭС, и их районирования. Кроме того, на основании изучения состава ЖК, в основном макрозообентоса, и динамики его изменений приведена краткая характеристика современного состояния МГЭС изучаемого шельфа.

ГЛАВА 1

Методологические подходы к выделению, дифференциации и районированию геоэкосистемы черноморского шельфа Украины и МГЭС донных отложений

Как показывает опыт классической экологии [1, 2 и др.], проблемы дифференциации и выделения геоэкосистем должны рассматриваться в аспектах, определяемых, прежде всего, объективными естественно-историческими реалиями, а также тактическими и стратегическими интересами общества. При этом наиболее эффективными универсальными инструментами являются экосистемно-структурная концепция и модельно-целевой подход. Рассматривая геоэкосистему черноморского шельфа Украины и МГЭС его донных отложений как подсистему глобальной морской геоэкологической системы нижнего уровня [3], ее можно дифференцировать по положению в пространстве экосистем более высокого уровня (Черного моря, Средиземноморского бассейна, Атлантического океана, Мирового океана, экосферы), которое определяется, в частности, структурно-тектонической неоднородностью земной коры.

Выделяются четыре основных иерархических уровня пространственных неоднородностей геоэкосистем вообще и МГЭС донных отложений, в частности: зональный, региональный, локальный и биогеоценотический. Одной из основ пространственной дифференциации геоэкосистемы, в т. ч. МГЭС Черного моря, является его зональность, обусловленная закономерностями происходящих в ней процессов осадкообразования. Более детально геоэкосистемы черноморского шельфа Украины можно дифференцировать, используя структурно-компонентные, процессуальные и функциональные признаки, внешние проявления в соответствующем ландшафте, подверженность тем или иным классам естественных или антропогенных нарушений и другие критерии. При этом необходимо учитывать иерархичность рассматриваемых систем и подсистем, обязательное соответствие проводимой дифференциации уровням, на которых она проводится. В связи с этим процессу дифференциации (районированию, зонированию) предшествовала процедура разработки соответствующих дифференциальных классификаций геоэкосистем и МГЭС донных отложений [3].

В настоящее время существуют два основных подхода к выделению и дифференциации экосистем и геоэкосистем вообще и МГЭС донных отложений в частности. Первый широко применяется в естественных науках, традиционен, в частности, для геологии, биологии и экологии и связан с концепцией «естественности». При таком подходе предполагается, что сама природа расчленила все явления и процессы на элементы, и обязанность исследователя – лишь адекватно зафиксировать это, пользуясь соответствующими методами и средствами.

В основе указанной концепции лежит положение о реальности существования объектов исследования, т. е. их объективности. При этом выбор объектов, в данном случае геоэкосистем черноморского шельфа Украины и МГЭС его донных отложений, как бы не преследует какой-либо цели, а определен независимым от исследователя фактом существования указанных объектов. Главная задача такого подхода определение конфигурации, отражение и изучение сущности объектов, которые выделяются как бы сами собой, активно воздействуя на сознание субъекта. После выделения этих объектов они, в своем логическом выражении, пополняют арсенал основных понятий геоэкологии и, в частности, морской геоэкологии. При таком подходе главное внимательно проанализировать все свойства и отношения изучаемых объектов с целью выделения наиболее существенных из них. Противники такого подхода, выдвигая ряд аргументов, считают его не конструктивным. Во-первых, по мнению критиков, указанный подход прямо не обусловливает необходимость формулировки критериев расчленения объектов, так как предполагается, что сама природа расчленила все на элементы. Во-вторых, слабость концепции естественности и соответствующего подхода видится ими в признании существенными лишь резких, визуально отражаемых границ. В-третьих, считается, что основные утверждения данной концепции недостаточны для методологической ориентации исследований. Так, из предположения однозначной расчлененности экосферы должно вытекать, что ее структурная расчлененность предопределяет и способы изучения частей (подсистем), и получаемые результаты. Указанные концепция и подход некоторыми авторами характеризуются как наивно-реалистические [4]. Кроме того, как следствие такого подхода имеет место фактическое отождествление понятий «объективно существующий» и «естественный» с понятием «визуально выделяемый». Соответственно и под естественными границами при этом понимаются такие изменения свойств, которые четко проявляются при визуальном обследовании [4, 5].

Концепция «естественности» экологических объектов тесно связана с концепцией «уровней организации материи», которая широко применяется во многих методологических работах по наукам геологии, биологии и экологии, синтез которых лежит в основе морской геоэкологии. Перечисленные концепции и соответствующие им подходы применены нами, в частности, при выделении подсистем биосферы, экосферы и др. [6]. При этом, как представляется, синтез данных подходов с биосферно-экосистемной концепцией и экосистемно-структурным подходом является достаточно конструктивным.

Действительно, можно считать, что объект геоэкологии (в широком смысле этого понятия) это верхние слои литосферы или гэоэкосфера. Этот объект выделяется на основе концепции «естественности», расчленяется в соответствии с экосистемно-структурным подходом и концепцией «уровней организации материи» на структурные уровни, образующие определенную иерархию. В ней объекты вышестоящего уровня состоят из объектов нижестоящего уровня, являющихся по отношению к первым структурными элементами. Но выделенные объекты любых уровней соответствуют требованиям, опять-таки, концепции «естественности». При этом признание иерархии структурных уровней, в частности геоэкосистемы черноморского шельфа Украины или МГЭС донных отложений, не учитывает всего возможного разнообразия целей расчленения геоэкосферы, а кроме того, обусловливает возможность описания структуры системы какого-либо уровня лишь через взаимоотношения систем более низких уровней. Например, МГЭС донных отложений с этих позиций можно рассматривать лишь как состоящую из биосистемы и геосистемы, т. е. из живой и неживой подсистем. Безусловно, это в значительной степени ограничивает возможности моделирования. Однако несомненно и то, что концепции «естественности» и «уровней организации материи» играют большую организующую роль, в частности, при установлении таксономии морских геоэкологических объектов и познании их места в естественной организации окружающего мира и др. Это расширяет и делает более эффективными в методологическом плане возможности другого широко применяемого подхода – модельно-целевого, лежащего в основе открывающихся перспектив моделирования морских геоэкосистем.

Развитию модельно-целевого подхода посвящен ряд специальных работ, в которых сформулированы его сущность и особенности [4 и др.]. По отношению к МГЭС модельно-целевой подход предусматривает в каждом конкретном случае четкую фиксацию наборов признаков, в соответствии с которыми предполагается проводить ту или иную геоэкологическую границу, например, устанавливать границы той или иной МГЭС донных отложений. В то же время рассматриваемый подход обусловливает возможность выделения существенных свойств объекта лишь с учетом цели данного исследования, что делает последнее систематичным и целенаправленным. Применяя при изучении черноморского шельфа Украины или МГЭС его донных отложений современную методологию науки, одно из базовых положений которой утверждает, что выделение объектов исследования зависит от конкретной цели и используемых средств изучения, мы помнили, что окружающий мир состоит из неограниченного множества веществ, свойств и взаимодействий, включая геоэкосистемы разного уровня, границы между которыми имеют абстрактный характер. Кроме того, учитывали, что, с одной стороны, каждую, например МГЭС, как и любой другой материальный объект, можно описать бесконечным количеством свойств, а с другой – эти же МГЭС отличаются друг от друга бесконечным ко-

личеством свойств, обладая при этом бесконечным множеством общих свойств [7]. Исследователь, имея практически неограниченные возможности при расчленении геоэкосферы, в т. ч. ее части, ограниченной современной береговой линией Мирового океана и выделяя, в частности, какую-либо МГЭС донных отложений в качестве объекта исследования, должен четко представить себе, для каких целей можно будет использовать полученную информацию. Из этого вытекает, что вышеуказанные действия, по-видимому, следует трактовать, как формирование моделей или конструктивизацию. Но так как для одной и той же МГЭС донных отложений можно построить множество моделей, которые в любом случае не могут быть точной копией объективной реальности, оценить их полезность можно лишь из того, насколько они удовлетворяют решению той или иной практической задачи и (или) способствуют построению теории.

Практика изучения геологических, биологических, экологических и других объектов показывает, что наибольшей эффективностью обладает синтез перечисленных подходов и концепций. В частности, наиболее приближенной к объективной реальности будет модель геоэкосистемы черноморского шельфа или МГЭС его донных отложений, составленная с помощью модельно-целевого подхода, но учитывающая для каждого конкретного случая в максимально возможной степени концепцию «естественности» и «уровней организации материи». Иначе значительное несоответствие объективной реальности и построенной модели может сделать модель практически непригодной для использования в решении конкретных задач. Поэтому мы считаем концептуальной основой методологии морской геоэкологии при выделении и дифференциации объектов исследований – диалектическое единство концепций «естественности», иерархичности структуры систем «уровней организации материи», с одной стороны, и «модельно-целевой» концепции – с другой.

Основываясь на концепциях «уровней организации материи» и «иерархичности структуры систем», приступая к рассмотрению и описанию различных уровней (регионального и локального) геоэкосистемы черноморского шельфа Украины и МГЭС его донных отложений, были, прежде всего, намечены основные принципы, по которым проводили выделение конкретных объектов исследований. В противном случае существенные для объекта того или иного уровня особенности могли бы потеряться в массе частных деталей и признаков. Следуя концепции «естественности», на каждом из рассматриваемых уровней выделяли естественные таксоны (зоны, области, районы, участки), характеризующиеся определенной внутренней структурой, обладающей признаками единства. Причем степень этого единства, т е. сила связей между структурными компонентами-подсистемами внутри этих таксонов, существенно сильнее силы связей с соседними таксонами-подсистемами, в частности, МГЭС донных отложений данного уровня. При этом вновь необходимо четко представлять себе уровень решения вопроса и в то же время использовать модельно-целевой

подход для уточнения научных или практических целей данного исследования. Если, например, требующая решения проблема соответствует глобальному уровню, то геоэкосистема Черного моря рассматривается в качестве геоэкологической подсистемы Мирового океана, а совокупности таких ее частей подсистем (зон, областей, районов), как геоэкологические подсистемы шельфа, континентального склона и ложа – как части – подсистемы соответственно геоэкологических систем шельфа, континентального склона и ложа Мирового океана. Действительно, каждая геоэкосистема, в т. ч. МГЭС донных отложений, этих трех основных тектур дна обладает значительным внутренним единством и специфическими взаимодействиями структурных компонентов-подсистемм. Таким образом, пользуясь концепцией «естественности», можно также дифференцировать геоэкосистему Мирового океана или ее МГЭС на подсистемы, соответствующие отдельным морским бассейнам или их частям, в частности – черноморскому шельфу Украины или МГЭС его донных отложений.

При этом выделенные ранги, например, МГЭС донных отложений локального уровня (участки и т.д.) будут не только подсистемами МГЭС донных отложений регионального уровня (районов, зон), но и подсистемами экосистемы Мирового океана и ее МГЭС, занимающих глобальный уровень (областей и т.д.).

В пределах геоэкологических областей и зон выделяются геоэкологические районы и участки. При этом критериями выделения служат как характерные ведущие процессы, происходящие в указанных объектах, так и другие их наиболее существенные внутренние или внешние признаки, определяемые часто с помощью концепции «естественности» и модельно-целевого подхода.

Как указывалось в работе [3], для дифференцирования, например, МГЭС донных отложений, на любом уровне одним из главнейших критериев является тип ее геологической среды. Он может быть выражен через генетические и структурные особенности литокомпонента, а его структурные характеристики, проявляются через такие интегральные показатели как, например, физико-механические или физико-химические свойства, фациальная неоднородность Мирового океана, соответствующие типы субаквальных ландшафтов [5, 8, 9 и др.]. Если к примеру учесть, что практически все физико-механические свойства МГЭС донных отложений определяются внешними условиями, существовавшими в определенный исторический интервал времени в данном сегменте биосферы (экосферы), а также внутренними взаимодействиями ее живых и неживых компонентов, то можно считать эти свойства, во-первых – эмерджентными свойствами рассматриваемой геоэкосистемы, а во-вторых – достаточно эффективным критерием ее дифференцирования или районирования, осуществляемого для конкретных практических целей [10].

Сравнительный анализ компонентных и генетических структур отдельных частей или определенных зон геоэкосистемы черноморского шельфа, в т. ч. МГЭС ее донных отложений, дает представление об их сходстве или различии. Учитывая сложность указанных объектов, позволяющую руководствоваться

принципом Паули, можно утверждать, что не существует двух абсолютно подобных по структуре и развитию геоэкосистем, т. е. любая из них уникальна и неповторима во времени и пространстве. Вместе с тем, можно найти, например, МГЭС донных отложений, сходство свойств которых помогает выявить наличие в их структуре аналогичных компонентов. Объективное существование общих свойств позволяет выделять определенные подсистемы, в частности в МГЭС донных отложений, для которых подходят единые методы изучения и описания их структуры, функционирования и состояния. Это служит основой для разработки разнообразных классификаций и зонирования геоэкосистем.

Инварианты в структуре, присущие различным частям, например, МГЭС донных отложений черноморского шельфа Украины, представляют собой основу для создания соответствующих функциональных моделей. На практике функциональные модели при необходимости могут заменяться моделями, в которых связи между компонентами выражаются в форме математических корреляций. Особенности функционирования МГЭС донных отложений определяют структуру и значимость таких корреляций. Отметим, что наиболее высокие коэффициенты корреляции между элементами геоэкосистемы наблюдаются при наличии их генетического и функционального единства. Это предопределяет широкие возможности для генетических и функциональных интерпретаций, получаемых при анализе корреляционных зависимостей между теми или иными характеристиками компонентов геоэкосистем, например, МГЭС.

Пространственная структура геоэкосистемы черноморского шельфа Украины, как и всего бассейна, носит иерархический характер. При описании этой структуры важно знание пространственных структур, возникших в результате взаимодействия основных подсистем экосистемы Черного моря, на границах которых формируются различные по масштабам субаквальные ландшафты, среди которых выделяются несколько иерархических уровней. Учитывая, что принцип иерархической определенности выступает как один из главнейших в теоретико-методологическом фундаменте морской геоэкологии, необходимо каждый раз четко задавать структурный уровень, для которого разрабатывается та или иная модель, поскольку разные уровни характеризуются значительными качественными изменениями свойств геоэкосистем. Практически это означает, что использование модели ограничивается геоэкосистемой, в частности МГЭС донных отложений определенного уровня. В то же время МГЭС данного уровня проявляется только через соответствующий уровень или ранг субаквального ландшафта.

При описании расположения геоэкосистемы, например, МГЭС в пределах границ данного морского бассейна или же в пределах границ какой-либо его пространственной структурной единицы, например участка, выделенного по геотектоническим, геоморфологическим или каким-то географическим признакам, можно пользоваться следующими подходами. Первый – зональный подход, заключается в идентификации и классификации отдельных МГЭС путем

расположения их в виде списка установленных типов. Другой – градиентный подход, предусматривает расположение МГЭС вдоль одно- или многомерного градиента внешних условий или соответствующих осей. В этом случае идентификация МГЭС основывается на распределениях частот, коэффициентах сходства или других статистических методах сравнения. Причем это объясняется не только большей вероятностью значительных изменений внешних условий, в частности гидродинамических. Границы МГЭС могут стать более резкими также в результате специфических биологических процессов, таких как конкуренция и коэволюция взаимодействующих и взаимозависимых ЖК МГЭС. В качестве примера можно привести МГЭС СЗ шельфа Черного моря [11 и др.]. Если проанализировать весь градиент глубин от изобаты 5 м и до края шельфа (глубины 100–150 м), то в пределах рассматриваемой площади дна можно выделить четыре или пять зон МГЭС донных отложений СЗ шельфа, которые вполне отвечают понятию дискретных типов МГЭС. В то же время их можно считать частями одного континуума, которые могут быть подвергнуты любой форме гради-ентного анализа. При этом проявятся закономерности распределения выделенных зон МГЭС и их соответствие изменениям внешних условий по градиенту. Анализ можно проводить как по неживым абиогенным или биогенным компонентам (состав, размерность, количественные отношения и др.), так и по живым (распределение популяций отдельных видов, их реакция на изменение внешних условий в соответствии с градиентом, в данном случае глубин, биомасс и др.) составляющим.

В целом, можно привести достаточное количество убедительных аргументов, подтверждающих целесообразность рассмотрения, например, донных отложений черноморского шельфа Украины в пределах его СЗ области, как единой МГЭС. В частности, одним из аргументов может быть то, что все выделяемые в пределах геоэкосистемы СЗ шельфа типы локальных МГЭС тесно связаны друг с другом обменом вещества, энергии и информации в самых различных формах (включая миграцию живого вещества). Однако гидростроителям, рыбакам, военным, экологам, геологам, управленцам и представителям других направлений деятельности удобнее рассматривать каждый выделенный на основе модельно-целевого подхода таксон, как отдельную МГЭС, поскольку каждый из них отличается многими характеристиками, важными для специалистов соответствующего профиля.

Говоря о выделении геоэкосистем черноморского шельфа Украины, МГЭС донных отложений, их районировании, зонировании и т.д., нельзя не остановиться на понятии «морской экотон». Поскольку главные объекты наших исследований морские геоэкосистемы, пограничные зоны между ними мы обозначаем термином «морской геоэкотон», под которым понимается пространство на границе двух морских геоэкосистем, в котором происходит относительно резкое изменение их структур, особенностей функционирования, энергетики и ряда иных свойств, параметров, признаков и т.д.

В качестве морского геоэкотона может быть рассмотрена, например, переходная зона между МГЭС, в которой геологическая среда представлена, с одной стороны, скальной горной породой, а с другой – рыхлым или мягким связным осадком. Обычно, пространство такой зоны контакта или «зоны напряжения» имеет значительную линейную протяженность, но, в то же время, оно на много уже территорий, контактирующих с МГЭС, или, по крайней мере, с одной из них.

В структуру морских геоэкотонов входят, как правило, многие живые и неживые компоненты, встречающиеся в граничащих с ними МГЭС. Кроме того, морской геоэкотон содержит обычно структурные элементы и компоненты, сформировавшиеся в его собственном пространстве, и характерные только для него. Это касается, например, организмов, составляющих ЖК, для которых пространство морского геоэкотона является ограничением в их распространении. Как правило видовой состав организмов в морском геоэкотоне богаче, а их плотность в нем часто выше, чем в смежных МГЭС. Это можно объяснить в ряде случаев тем, что многим организмам для нормальных воспроизведения и жизнедеятельности необходимы такие условия геологической среды, которые имеются лишь в конкретном морском геоэкотоне. В таком геоэкотоне влияние ЖК на компоненты геологической среды часто значительнее, чем в МГЭС, между которыми он расположен. В качестве примера можно привести зону приливного барьера на шельфе Гвинеи [12 и др.].

Понятия морской геоэкотон, как нам представляется, тесно связаны с понятиями, краевой эффект, барьерные зоны, природные барьеры, пограничные эффекты и др., которые в настоящее время широко применяются в различных направлениях науки о морях и океанах [13 и др.]. Причем в структуре природных барьеров в океане также отмечается определенная иерархия и многоуровенность от клетки и коллоидной частицы (микроуровень) до глобальных барьерных зон между океаном и атмосферой, водной средой океана и геологической средой его дна и др. (мегауровень).

Если внимательно проанализировать существующие представления о барьерных зонах и природных барьерах в Мировом океане, их свойствах и характеристиках, то становится понятным огромное значение этих природных феноменов в экологическом и, особенно, в геоэкологическом плане для экосистемы шельфа Черного моря, т.к. это именно такие части ее пространства, в которых концентрации всевозможных (механических, геохимических, биогеохимических, физико-химических, физико-механических и др.) границ и взаимодействий барьерного типа, обусловливающих наличие краевого эффекта, достигает максимальных величин.

Если говорить о функциональной роли морских геоэкотонов, то она, как представляется, наиболее соответствует понятию геоэкологической мембраны между различными подсистемами, частями или зонами геоэкосистем, в частности, МГЭС.

Из вышесказанного следует, что особенности морских геоэкотонов необходимо обязательно принимать во внимание при организации морского промысла биологических объектов, планировании и проектировании гидротехнического строительства, добычи минерального сырья и осуществления любых других видов воздействия на МГЭС.

В работе [3] показано, что основу геологической среды геоэкосистем, в частности МГЭС, составляют, как правило, либо литокомпоненты, либо их искусственные аналоги. Поэтому естественно, что фундаментом выделения и классификации МГЭС и их подсистем различного уровня и масштаба, позволяющим прогнозировать те или иные их изменения во времени и пространстве, являются результаты литогенетических и палеоэкологических исследований. Такие исследования, в свою очередь, обязательно включают изучение вещественного состава и структурных особенностей широкой гаммы донных образований, присущих им геоэкосистемных процессов, функций и свойств, а также многочисленных факторов, способных лимитировать существование этих образований как геоэкологических систем. Напомним, что в качестве литокомпонента МГЭС обычно выступают минералы, горные породы, их обломки, химические элементы и их соединения, биогенные частицы-остатки скелетных и других твердых образований, принадлежащие к определенным систематическим группам организмов. Очевидно, наиболее практичной является такая классификационная схема, в которой определение принадлежности выделенной МГЭС к самой крупной таксономической единице происходит на основании наиболее достоверных и однозначных признаков. По мере же перехода к выделению более мелких таксонов могут применяться менее однозначные признаки. Этому требованию в наибольшей степени отвечает принцип явного доминирования одного, причем легко диагностируемого литокомпонента, или характерного показателя (характеристики, свойства и др.).

Например, одно из первых районирований МГЭС донных отложений Черного моря было проведено с применением классификационной схемы, дифференцирующей МГЭС по структурно-генетическим признакам и структурным связям их литокомпонентов [3]. При этом самой крупной таксономической единицей указанной схемы является класс МГЭС донных отложений. В МГЭС Черного моря было выделено два класса-подсистемы скальные и нескальные. Основой этого разделения явилась свойственная различным классам МГЭС, однозначно диагностируемая и легко определяемая специфика структурных связей между их литокомпонентами. Жесткие структурные связи внутри литологической основы класса скальных МГЭС Черного моря, имеющих массивную структуру, обусловливают ряд их геоэкологических особенностей. Эти особенности заключаются, прежде всего, в высокой устойчивости литологической основы к внешним динамическим (гидродинамическим, механическим и др.) воздействиям, что, в свою очередь, во многом определяет высокую степень общей сопротивляемости скальных МГЭС негативным внешним влияниям. Особенно

это характерно для скальных магматогенных и метаморфогенных геоэкосистем. ЖК скальных МГЭС, как показывает анализ опубликованных данных и наших наблюдений, представлен, главным образом, эпифауной и эпифлорой, среди которых преобладают прикрепленные формы, питающиеся в основном взвешенным веществом МАКЭС. Однако следует отметить, что в различных экологических условиях определенных фациальных обстановок значительную роль в скальных МГЭС могут играть неподвижные (седентарные) и подвижные (вагинальные) формы макрофауны, среди которых встречаются фито- и зоофаги, а также фитозоофаги. В скальных экзогенных осадочных сцементированных МГЭС, особенно биохемогенных, некоторых обломочных и искусственных МГЭС существенное значение имеют так называемые сверлильщики, т. е. организмы, которые в процессе своей жизнедеятельности тем или иным способом внедряются в литокомпонент и, постепенно разрушая его, преобразуют систему из скальной в нескальную. Всего класс скальных геоэкосистем объединяет 10 основных типов МГЭС, отличающихся особенностями своего генезиса, компонентного состава и структуры связей между литокомпонентами.

МГЭС скального класса наиболее широко распространены в приконтинентальных геоэкологических областях Черного моря, в частности – в континентально-морском геоэкотоне прибрежной зоны черноморского шельфа Украины, особенно в его прикрымской области, в некоторых зонах перехода от шельфовой МГЭС к континентально-склоновой. Анализ распределения скальных МГЭС в черноморском шельфе Украины показал, что они, как правило, приурочены к тем частям пограничных районов между МГЭС и МАКЭС, которые получают значительные дотации различных видов энергии (тектонической, сейсмической, гидродинамической и др.).

Класс нескальных МГЭС распространен в Черном море более широко, чем скальных. Все системы этого класса относятся к группе осадочных несцементированных МГЭС. Исключением являются некоторые из них (насыпного и намывного типов), входящие в группу нескальных искусственных МГЭС. Среди главных вещественно-генетических типов нескальных МГЭС выделяются различные терригенные обломочные, биогенно-терригенные, глинистые и смешанные МГЭС. Нескальные типы МГЭС, за исключением, пожалуй, обломочного терригенного и некоторых смешанных типов, обладают невысокой устойчивостью литологического компонента, а следовательно и всей системы, к внешним динамическим воздействиям. Макроорганизмы представлены в ЖК нескальных МГЭС черноморского шельфа Украины, в основном роющими, седентарными и закапывающимися формами, причем значительную роль играет инфауна. По способу и объекту питания преобладающими являются детритофаги (илоеды), хотя представители сестонофагов, зоофагов, фитофагов и зоофитофагов часто оказывают весьма значительное влияние на функционирование различных типов нескальных МГЭС, особенно в прибрежных зонах шельфов. Следует подчеркнуть, что преимущественно именно в этих зонах

формируются и функционируют нескальные МГЭС с наибольшей сопротивляемостью внешним динамическим воздействиям, чему способствуют, как и при формировании скальных МГЭС, значительные дополнительные дотации различных видов энергии и информации извне.

Представленная в работе [3] классификация и, составленная на ее основе схема районирования МГЭС позволяют эффективнее продвигаться к достижению основных целей и решению главных задач, стоящих перед морской геоэкологией в отношении изучения ресурсов черноморского шельфа Украины и разработки схем их более рационального практического освоения. В частности, их использование может помочь более обоснованному осуществлению прогнозирования геоэкологических условий в том или ином районе Черного моря, в создании для его МГЭС моделей «потребление – производство» др. Такие модели не только способствовали бы определению ресурсных возможностей МГЭС того или иного участка морского дна и прогнозированию изменений этих возможностей под влиянием различных, в т. ч. и антропогенных воздействий, но и могли бы способствовать разработке методов, регулирующих эти воздействия в необходимом направлении.

Анализ распределения разных вещественно-генетических таксонов МГЭС черноморского шельфа Украины дает возможность установить наличие генетических и причинных связей этих систем, отдельных их признаков и характеристик с фациальными обстановками черноморского геоэкогенеза. При этом обнаруживается ряд закономерных изменений МГЭС в конкретной связи с изменениями характеристик соседней МАКЭС, топографии границы «МАКЭС–МГЭС», условий и интенсивности поставки в МГЭС или оттока из нее вещества, энергии и информации, т. е. в зависимости от фациальной обстановки функционирования конкретной МГЭС. Все это позволило предложить схему классификации МГЭС, учитывающую различия фациальных обстановок их формирования и функционирования, и на основе этой классификации составить соответствующую схему районирования МГЭС Черного моря [3]. При разработке указанной классификации и схемы районирования учтены общепринятые в океанологической науке концепции климатической, вертикальной и циркумконтинентальной зональности осадкообразования в Мировом океане, его фациальное районирование, структурно-геологическая, энергетико-тектоническая и геоморфологическая неоднородности земной коры в пределах современных границ Мирового океана вообще и рассматриваемого морского бассейна, в частности. Кроме того, принималось во внимание существование значительных гидродинамических, гидрохимических, гидробиологических и других неоднородностей МАКЭС Черного моря, во многом определяющих специфику структурных особенностей, контактирующих с ними МГЭС и происходящих в них процессов, а также распределение этих процессов в соответствующем пространстве. Представленные в работе [3] таксоны или ранги МГЭС (классы, группы, виды), при необходимости, для решения определенных задач могут рассматриваться в качестве подсис-

тем единой глобальной МГЭС, отличаясь при этом не только своими компонентными, процессуальными и функциональными системами, но и определенными уровнями в иерархии и масштабами занимаемого пространства.

Так как конечным этапом, синтезирующим морские геоэкологические исследования, является составление своеобразных картографических моделей МГЭС в виде морских геоэкологических карт, необходимо учитывать, что объем пространства МГЭС может быть разным. Это позволяет говорить о подсистемах глобальной МГЭС различных порядков. Среди них можно выделить: микрогеоэкосистемы; мезогеоэкосистемы; макрогеоэкосистемы; мегагеоэкосистемы.

Дробность выделения МГЭС зависит от масштабов подготавливаемых морских геоэкологических карт. При этом выбор масштаба карт определяется задачами и необходимой детальностью исследований. В работе [3] предложена схема масштабов геоэкологических пространственных единиц. Подчеркнем, что каждая более крупная единица МГЭС включает в себя не менее двух мелких геоэкологических единиц в качестве подсистем. За элементарную единицу МГЭС условно принят вещественно-генетический тип определенной размерной структуры. Он функционирует, как правило, в конкретной морской микрофациальной обстановке и соответствует уровню морской микрогеоэкосистемы, занимая в пространственном отношении конкретный морской геоэкологический участок. Виды МГЭС соответствуют уровню морской мезогеоэкосистемы, объединяют в качестве подсистем несколько типов МГЭС и занимают обычно пространства, по масштабам соответствующие морским геоэкологическим районам. Макрогеоэкосистемы отвечают группам МГЭС, которые, в свою очередь, объединяют в качестве подсистем несколько близких по определенным признакам видов МГЭС в объеме пространства морских геоэкологических регионов. Напомним, что в рамках глобальной МГЭС в качестве подсистем выделены два класса МГЭС, которые отвечают уровню глобальных мегагеоэкосистем, объединяют определенные группы и виды МГЭС и в пространственном масштабе отвечают морским геоэкологическим областям. При этом каждая из таких областей соизмерима с глобальной континентальной геоэкологической областью.

Говоря о масштабе морских геоэкологических пространственных единиц, важно подчеркнуть значительную степень условности их выделения в зависимости от целей и задач конкретных морских геоэкологических исследований. Кроме того, необходимо помнить, что масштабы некоторых типов МГЭС, особенно пелагических, могут не соответствовать схеме, приведенной в работе [3]. Следует отметить, что несмотря на применяемый при разработке указанной схемы модельно-целевой подход, допускающий самую широкую трактовку и набор критериев для выделения подсистем МГЭС черноморского шельфа Украины, все представленные в классификации ранги дифференцировали с учетом закономерно действующих объективных природных факторов. Эти факторы имеют для МГЭС также определенное генетическое значение. Но при этом, бе-

зусловно, учитывают основные общие цели морских геоэкологических исследований на современном этапе. Это, прежде всего, эффективное познание и прогнозирование геоэкологических условий в любой точке шельфа Черного моря на базе изучения как внутренних закономерностей и причин изменений МГЭС, так и условий, воздействий и причин, определяющих их изменения извне. Все выделенные ранги МГЭС характеризуются присущей только им компонентной, процессуальной и функциональной структурами, вертикальными (мощность) и горизонтальными (площади распространения) размерами, особенностями стратификации (слоистостью и различными возрастами выделяемых слоев), формой, условиями и временем функционирования (формирования, существования).

Образование в данном объеме пространства экосистемы черноморского шельфа Украины какого-то конкретного типа МГЭС в некий промежуток геологического времени зависит от совокупного действия ряда определенных лимитирующих факторов в пределах определенного сочетания условий. Причинные связи типов МГЭС с этими факторами и условиями однозначно пока не выявлены и поддаются количественному учету лишь частично. Однако разносторонние исследования процессов современного осадкообразования и петрогенеза, закономерностей формирования видового состава и распределения сообществ бентосных организмов, вещественного состава и свойств донных отложений позволяют уже сегодня иметь довольно обширные представления о важнейших качественных сторонах таких связей и достаточно надежно, часто с применением количественных методов, определять место каждого типа МГЭС в экосистеме шельфа Черного моря.

Особое внимание хотелось бы обратить на критерий абсолютного преобладания в той или иной области черноморского шельфа Украины приконтинентального типа современного седиментогенеза, позволивший, с одной стороны, объединить ряд соответствующих групп МГЭС в определенный класс-мегагеоэкосистему, а с другой – выделить указанный класс как подсистему единой глобальной МГЭС. Анализ современного осадкообразования и петрогенеза в пределах черноморского шельфа Украины с экосистемных позиций позволяет сделать вывод о принципиальном экологическом значении выделения такого регионального класса МГЭС для понимания единства и специфики шельфового геоэкогенеза как регионального процесса перемещения и трансформации вещества, энергии и информации, в т. ч. протекающих в настоящее время.

В геоэкологическом плане переходные зоны между МГЭС черноморского шельфа и смежными приморскими геоэкосистемами континента, МГЭС черноморского шельфа и смежными МГЭС континентального склона Черного моря являются крупнейшими региональными геоэкотонами Черного моря. Изменения, происходящие в этих геоэкотонах, не всегда однонаправленные и часто обладают сложными и даже обратными тенденциями. Однако большинство характеристик геоэкологических факторов и условий проявляют в своем законо-

мерном изменении от континента к центральным частям Черного моря отчетливое возрастание градиентов в одной и той же относительно узкой зоне, отвечающей границе между приконтинентальными (шельфовыми) и пелагическими классами МГЭС.

Следует подчеркнуть, что между всеми выделенными группами, видами и типами МГЭС черноморского шельфа Украины существуют геоэкотоны соответствующего масштаба и уровня.

Отметим, что приведенные в работе [3] классификационные схемы и схемы районирования МГЭС Черного моря, по мере накопления геоэкологической информации, дополняются и совершенствуются. Однако и сегодня они служат основой для создания наглядных картографических моделей черноморской МГЭС, в т. ч. – МГЭС черноморского шельфа Украины, необходимых для рационального освоения ее ресурсов.

Наиболее комплексными и наглядными признаками дифференциации МГЭС черноморского шельфа Украины являются ее проявления как основы различных подводных ландшафтов, прежде всего – геохимических [8]. Эти проявления есть результат взаимоотношения подсистем общей структуры черноморской МГЭС и в то же время – продукт взаимодействия ее подсистем с соответствующими подсистемами МАКЭС и МАЭС.

Дифференциация МГЭС черноморского шельфа Украины может осуществляться и по процессуальным признакам. При этом критериями могут служить преобладающие в соответствующих геоэкосистемах геологические, геохимические, биологические и другие процессы. Критерием дифференциации могут также являться функции, характерные для различных МГЭС в структуре более крупных МГЭС или других экологических систем, либо отдельных пространственных частей-подсистем черноморской МГЭС. Подчеркнем, что методология выделения, дифференциации и картирования МГЭС на базе их характерных эмерджентных свойств и функций, с учетом их влияния и влияния их компонентов на смежные экосистемы, особенно на ЖК последних, включая человека как вид и человечество как социальную структуру, является принципиально новой и требует своего развития.

Дифференциация МГЭС черноморского шельфа Украины по их функциональной динамике может основываться на различиях рассматриваемых геоэкосистем по входящим и выходящим потокам вещества и энергии. Особенно важными признаками активности таких потоков могут быть процессы эрозии, абразии, взаимодействия растительного компонента МГЭС с потоками водной среды смежной МАКЭС, активность миграции живых организмов, а также межкомпонентные потоки, различающиеся по направлению, силе и структуре (диффузионные потоки, внутрисистемные гидропотоки и т.д.). Примером функциональной дифференциации МГЭС может послужить зонирование геоэкосистемы мангровой геоэкосистемы Гвинеи (Западная Африка) [14].

точным определением целей и задач исследований, должен предшествовать глубокий геоэкологический анализ объекта. Этот анализ как метод познания и является обобщающей основой методологии дифференциации МГЭС, а также их геоэкологического районирования. Основное отличие этого метода от других методов познания, например, донных отложений и процессов их формирования, это включение в анализируемую систему следующих категорий: а) геоэкологической изменчивости МГЭС; б) процессуальной подсистемы МГЭС; в) подсистемы внутренних функций МГЭС; г) подсистемы внешних функций МГЭС и ее компонентных подсистем относительно других, главным образом смежных системных природных и антропогенных объектов, бионтов, в частности, человека как вида и человечества как социальной структуры; д) антропогенного воздействия на объект исследований и наличия функционирующей системы причин его нарушения.

ГЛАВА 2

Живой компонент как индикатор современного состояния МГЭС черноморского шельфа Украины

Функционирование биосистемы ЖК МГЭС является показательным индикатором ее состояния. Оно во многом обусловлено экологическими особенностями смежной МАКЭС, в т. ч. с состоянием ее ЖК, в основном – планктонных сообществ. В МГЭС черноморского шельфа Украины в период, благоприятный для развития подсистемы ЖК в МАКЭС, были отмечены участки с очень высокой продуктивностью. И только в районах МГЭС, граничащих с МАКЭС, испытывающей сильное влияние аквальных речных экосистем (преимущественно Дуная), что обусловливало высокую мутность ее водной среды, были обнаружены небольшие по площади «мертвые пятна» – участки МГЭС почти, или совсем лишенные живого макрозообентоса. В среднем биомасса макрозообентоса в МГЭС колебалась в пределах 200–2000 г/м^2 [16].

В 80–90-е годы минувшего столетия в МГЭС СЗ области шельфа сложилась критическая ситуация для существования бентоса, особенно в западной ее – Дунай-Днестровской части [3, 15–17 и др.], где на глубинах более 30 м бентофауна либо отсутствовала вообще, либо отмечались угнетенные или недавно погибшие особи *Mytilus galloprovincialis*. По данным работы [15] в последние годы происходит повсеместное восстановление бентофауны и некоторое повышение биомассы макрозообентоса в МГЭС. Однако, те же авторы отмечают, что несмотря на некоторое улучшение состояния бентоса в отдельных районах МГЭС и в отдельные сезоны года, в целом в МГЭС шельфа Черного моря происходит уменьшение видового разнообразия и исчезновение отдельных видов бентоса. Это приводит к упрощению подсистемы ЖК МГЭС, перемещению нижней границы распространения макрозообентоса в сторону уменьшения глубин. Практически ежегодные заморы в МАКЭС и МГЭС СЗ шельфа приводят подсистему ЖК МГЭС в нестационарное состояние, лишая ее практически всех взрослых особей

и долгоживущих видов организмов. Индекс плотности бентоса уменьшился от 1,2 до 0,87, особенно на участке МГЭС между Дунаем и Днестром.

Из всей области черноморского шельфа Украины наиболее благополучная ситуация в МГЭС для подсистемы ЖК отмечалась у Крымского побережья, хотя и там замечена некоторая тенденция к сокращению численности и биомассы организмов макрозообентоса, а местами его полное отсутствие, особенно в отдельных районах МГЭС у восточного побережья Крыма. В МГЭС средней части шельфа обстановка также нестабильная. Фиксируются резкие колебания состояния подсистемы ее ЖК даже в кратком временном интервале. Например, в 1990 г. в июне относительно мая отмечено сокращение численности организмов в МГЭС в 20 раз, а биомассы в 100 раз [17].

Как показывают исследования последних лет, наиболее продуктивный и крупный мидиевый биоценоз в МГЭС шельфа расположен на глубинах от 18 до 45 м. В сублиторальной МГЭС на глубинах 17–25 м наблюдается вытеснение из подсистемы ЖК мидиевого сообщества биоценозом недавнего вселенца *Mya arenaria*. Биоценоз мелкого двустворчатого моллюска *Gouldia minima* занимает небольшие пространства в МГЭС песчано-илистого вида на глубинах 20–40 м. Участки шельфа, на которых в подсистеме ЖК МГЭС преобладает гульдия, являются наиболее благоприятными для многих бентосоядных рыб, входящих в подсистему ЖК смежной МАКЭС.

Для участков МГЭС, где в структуре преобладают фазеолиновые илы, при средних показателях 877 экз./м^2 и 63 г/м^2 максимальные количества экземпляров и биомассы макрозообентоса (2400 экз./м^2 и 173 г/м^2) отмечены в марте 1990 г. на участке МГЭС у южной оконечности мыса Тарханкут. От марта к июню отмечалась общая тенденция к сокращению здесь числа экземпляров организмов макрозообентоса в 15, а их биомассы – болеее чем в 9 раз.

В Дунай-Днестровском районе МГЭС основной вклад в биомассу ЖК МГЭС – 99 % дает *Mytilus galloprovincialis*, причем 75 % численности этого вида приходится на особи с длиной створок до 10 мм. Совершенно очевидно, что гипоксийный пресс приводит к массовой элиминации вида.

В МГЭС придунайского района шельфа, гидрохимический режим которой и гидрохимический режим смежной МАКЭС формируется под влиянием соответствующей речной акваэкосистемы, выявлено около 30-ти видов организмов макрозообентоса. Из них 6 – полихет, 5 из которых свободноживущие и только 1 вид сидячих, а также 1 вид ракоподобных из подкласса *Cirripedia* (усоногие раки) и 23 вида моллюсков, из них 9 – класса *Gastropoda,* 14 – класса *Bivalvia.*

На глубинах 17–20 м в МГЭС найдено 15 видов, на глубинах 23–29 м – 18 видов, на глубинах 30,5–37,5 м – 15 видов, на глубине 43 м – 7 видов организмов макрозообентоса. Из всех видов в МГЭС преобладает моллюск *Mytilus galloprovincialis,* который является доминантой первого порядка с частотой встречаемости 76 %. *Tritia reticulata* из класса *Gastropoda* также доминанта первого порядка с частотой встречаемости 53 %.

Доминантой второго порядка является *Mya arenaria* с частотой встречаемости 29 %. Фактически везде в пространстве МГЭС, где выявлена *Mya arenaria,* отсутствует *Mytilus galloprovincialis* – это подтверждает гипотезу ученых [17], что в результате регулярных заморов в данном районе МГЭС возможна замена мидиевого сообщества на сообщество мии.

С увеличением глубины и природного заиления МГЭС происходит закономерная смена организмов зообентоса. На глубинах более 45 м в МГЭС зарегистрированы виды, характерные для фазеолиновых илов – двустворчатые моллюски *Modiolus phaseolinus* и *Modiolus adriaticus*, полихеты *Melinna palmata*, достигающие высокой численности.

Таким образом, по видовому разнообразию, численности и биомассе среди макрозообентоса в МГЭС черноморского шельфа Украины преобладают двустворчатые моллюски-фильтраторы, составляющие основную группу сестонофагов в МГЭС и обеспечивающие процессы ее самоочищения. Редукция именно этой группы организмов негативно отражается на процессах концентрирования и последующего депонирования в МГЭС органических, органо-минеральных и минеральных загрязнителей.

Интенсивные заморные явления, фиксировавшиеся неоднократно в МГЭС и МАКЭС шельфовой зоны в летне-осенний период приводили практически к полной гибели безпозвоночных в МГЭС сублиторали и к частичной – в геоэкотоне «сублитораль-элитораль» (глубины акватории от 13 до 57 м) [11, 19 и др.].

Проведенные исследования и расчеты показывают, что восстановление количественных и качественных характеристик ЖК в МГЭС, в частности организмов макрозообентоса, за счет оседающих личинок (средняя биомасса достигает только 177 г/м^2), может быть устойчивым только при значительном ослаблении антропогенного воздействия.

Как показано в работе [3], в структуре МГЭС донных отложений черноморского шельфа Украины функционируют части двух основных глобальных классов МГЭС: 1) приконтинентального; 2) переходного приконтинентально-пелагического. В пределах приконтинентального класса выделены практически все известные группы, а также виды подсистемы МГЭС, за исключением литоральной и мангровой. Отсутствие в МГЭС Черного моря указанных подсистем объясняется климатическими характеристиками широтной зоны расположения рассматриваемого морского бассейна, а также практическим отсутствием приливно-отливной динамики его МАКЭС. Однако вместо литорального вида в рамках рассматриваемой группы МГЭС нами выделен псевдолиторальный вид, который сформировался и функционирует на отдельных участках береговой зоны, где в МАКЭС развиты сгонно-нагонные процессы. Каждый из видов МГЭС Черного моря, в свою очередь, характеризуется определенным набором подсистем, отличающихся своими генезисом, структурой, физико-химическими и физико-механическими свойствами, составом твердого, жидкого, газового и ЖК, спецификой процессов их взаимодействия и другими признаками. Это позволи-

ло выделить в пределах различных видов МГЭС несколько структурно-генетических типов. Именно структурно-генетический тип должен приниматься за элементарную функционирующую единицу-подсистему морской геоэкосистемы, в данном случае МГЭС Черного моря.

Выделенные подсистемы напрямую контактируют с соответствующими частями-подсистемами черноморской МАКЭС. Супра- и псевдолиторальный виды МГЭС временами граничат, кроме того, с различными частями МАЭС бассейна. Таким образом, явления и процессы, происходящие в пограничных зонах других экосистем, оказывают на смежные МГЭС существенное влияние.

Следует отметить, что в приконтинентальной МГЭС Черного моря в пределах Украины наиболее распространен твердый компонент терригенного, реже биогенного (бентогенного, планктоногенного) или смешанного происхождения. При этом составляющие твердого компонента характеризуются очень широким спектром размерных структур и разнообразным качественным составом. Это объясняется, прежде всего, отличиями в геологических, оро- и гидрографических особенностях поставляющих провинций, вариациями в присущих им климатических условиях, а также различиями в экологических условиях отдельных частей приконтинентальной области рассматриваемого бассейна. Все изложенное предопределяет пространственную, в частности латеральную, неоднородность в количественном содержании, а также в составе жидкого, газового и живого компонентов приконтинентальной МГЭС. Такая неоднородность особенно характерна для видов и групп МГЭС, располагающихся выше границы сероводородной зоны (как правило, глубина менее 150–200 м).

Особенности структурно-геологического строения и геоморфологии дна Черного моря обусловили большое видовое разнообразие приконтинентального класса МГЭС в северо-западной области акватории, где в пределах только прибрежно-морского геоэкотона можно выделить семь видов МГЭС. Твердый компонент указанного геоэкотона сложен здесь в основном терригенным веществом песчаной, алевритовой и грубообломочной структуры. ЖК состоит главным образом из представителей биоценозов донациллы-офелии, нанодиогенеса, а также венуса, лентидиума, мии и др. [20]. В составе фитобентоса, играющего существенную экологическую роль в функционировании МГЭС прибрежно-морского геоэкотона, можно, прежде всего, назвать представителей ассоциации зеленых водорослей и цистозировой формации [21]. Отметим существенную экологическую роль, которую играют в данном геоэкотоне микроорганизмы, среди которых значительную долю занимают бактерии аллохтонного происхождения [22].

В СЗ области Черного моря также наиболее представительными являются сублиторальный и элиторальный виды шельфовой группы МГЭС. Твердый компонент сублиторальной МГЭС, которая расположена на абсолютных отметках примерно – (5–30 м), имеет, в основном, терригенно-биогенное, терригенное и биогенное происхождения. Его размерная структура колеблется пре-

имущественно от песчано-алевритовой до алеврито-пелитовой. ЖК, представленный организмами биоценозов венуса, мидии, гульдии, питара, списулы, абры, мии и др. [20], играет важную геоэкологическую роль в данном виде черноморской МГЭС. Так, раковинный детрит и раковины моллюсков на значительных площадях существенно огрубляют размерную структуру ее твердого компонента. Немаловажное значение для обеспечения нормального функционирования сублиторальной МГЭС имеют водоросли полисифониевой, филофоровой и цистозировой формаций, а также некоторые водоросли, характерные для растительных формаций мягких грунтов [21]. Кроме того, в сублиторальной МГЭС повышена, по сравнению с предыдущей группой морских геоэкосистем, роль автохтонных микроорганизмов [22].

В элиторальной МГЭС Черного моря на абсолютных отметках (30–90 м), особенно в ее СЗ области, компонентный состав в значительной степени обусловлен широким распространением биогенного детрито-раковинного материала, который делает размерную структуру системы довольно грубой и неоднородной. Терригенная составляющая твердого компонента, как правило, имеет алеврито-пелитовую, пелито-алевритовую, реже – пелитовую структуры. ЖК представлен организмами биоценозов фазеолины, офиуры, стернапсиса, плагиокардиума и, в меньшей степени, мидии, гульдии и др. [20]. Среди водорослей в данной группе МГЭС распространены представители филофоровой и полисифониевой формаций. На глубинах более 60 м макроводоросли практически не входят в компонентный состав элиторальной МГЭС. Здесь отмечается лишь однолетняя, очень слабо развитая группировка нитчатых водорослей, которая также теряет свое экологическое значение на глубинах около 80–90 м [21].

Несомненно, важное, но еще слабо изученное значение для нормального функционирования не только геоэкосистемы черноморского шельфа Украины, но и всей экосистемы Черного моря имеет переходная шельфово-континентальносклоновая группа МГЭС. Одной из главных ее особенностей является то, что она находится в пограничной зоне между кислородной и сероводородной физико-химическими подсистемами МАКЭС и МГЭС бассейна. Твердый компонент соответствующего морского геоэкотона имеет чаще всего смешанное происхождение. Наряду с терригенным материалом тонких фракций, значительную роль в его структуре играет биогенная составляющая, представленная преимущественно детрито-раковинным материалом, в основном, створками и фрагментами раковин фазеолин. ЖК здесь представлен, в основном, червями и микроорганизмами. Количество последних в поверхностном слое этой группы МГЭС достигает десятков тысяч микробных форм в 1 $см^3$ [22].

Следует отметить, что микроорганизмы как подсистема ЖК свойственны всем таксонам черноморской МГЭС, но они являются единственным составляющим ЖК в зоне сероводородного заражения. Здесь они участвуют в трансформации органического вещества, создании его новых форм в виде бактериальной массы, играют ведущую роль в образовании сероводорода за счет серы органи-

ческих и неорганических соединений. При этом иногда в качестве единственного источника углерода и энергии используются углеводородные газы, в т. ч. метан газовых струй, проходящих через МГЭС [23]. Таким образом, микроорганизмы во многом определяют уникальность экосистемы Черного моря, в которой сероводородная физико-химическая подсистема занимает подавляющий объем пространства. Безусловно, причины современного экологического состояния сероводородной подсистемы черноморской МГЭС обусловлены всей геологической историей формирования рассматриваемого морского бассейна как целостной экосистемы.

Как показал анализ имеющегося материала, в приконтинентальный класс черноморской МГЭС входят также геоэкосистемы, функционирующие в различных мезо- и микрофациальных обстановках континентального склона, его подножья, а также в отдельных, в основном, периферийных районах ложа. В составе МГЭС этого класса преобладает терригенный компонент, разбавленный биогенным (планктоногенным) веществом.

Отметим, что, например, терригенный иловый тип МГЭС, встречаемый как в приконтинентальной, так и в приконтинентально-пелагической группах МГЭС, имеет существенные геоэкологические отличия. В частности, МГЭС, особенно расположенные в кислородной зоне, характеризуются более разнообразным по качеству и более богатым по количеству ЖК. На границе с МАКЭС таким МГЭС присущи окислительные условия. В составе газового компонента относительно большую роль играет метан, чем сероводород. В функциональном плане они более продуктивны и поставляют в экосистему значительно больше живого вещества. Жидкий компонент в МГЭС приконтинентальной группы часто формируется под влиянием субмаринной разгрузки подземных вод континентов.

Учитывая объемные ограничения, налагаемые на данную работу, представляется нецелесообразным подробно останавливаться на характеристике каждого из выделенных таксонов МГЭС. По нашему мнению, это должно быть предметом дальнейших специальных исследований. Судить же на современном уровне знаний о вещественном составе, свойствах и функциях различных категорий МГЭС черноморского шельфа Украины позволяют известные опубликованные материалы, на которые даны ссылки выше и к которым будем обращаться далее. В настоящей же работе авторы акцентировали внимание на примерах тех изменений, которые произошли в приконтинентальном классе черноморской МГЭС за последние десятилетия, в т. ч. в результате непродуманной антропогенной деятельности.

Среди различных форм антропогенного воздействия на МГЭС черноморского шельфа Украины ведущее место принадлежит возрастающему поступлению питательных минеральных и органических веществ. Этот процесс, названный термином «эвтрофикация», породил в экосистеме Черного моря ряд взаимосвязанных явлений, составляющих так называемый синдром эвтрофи-

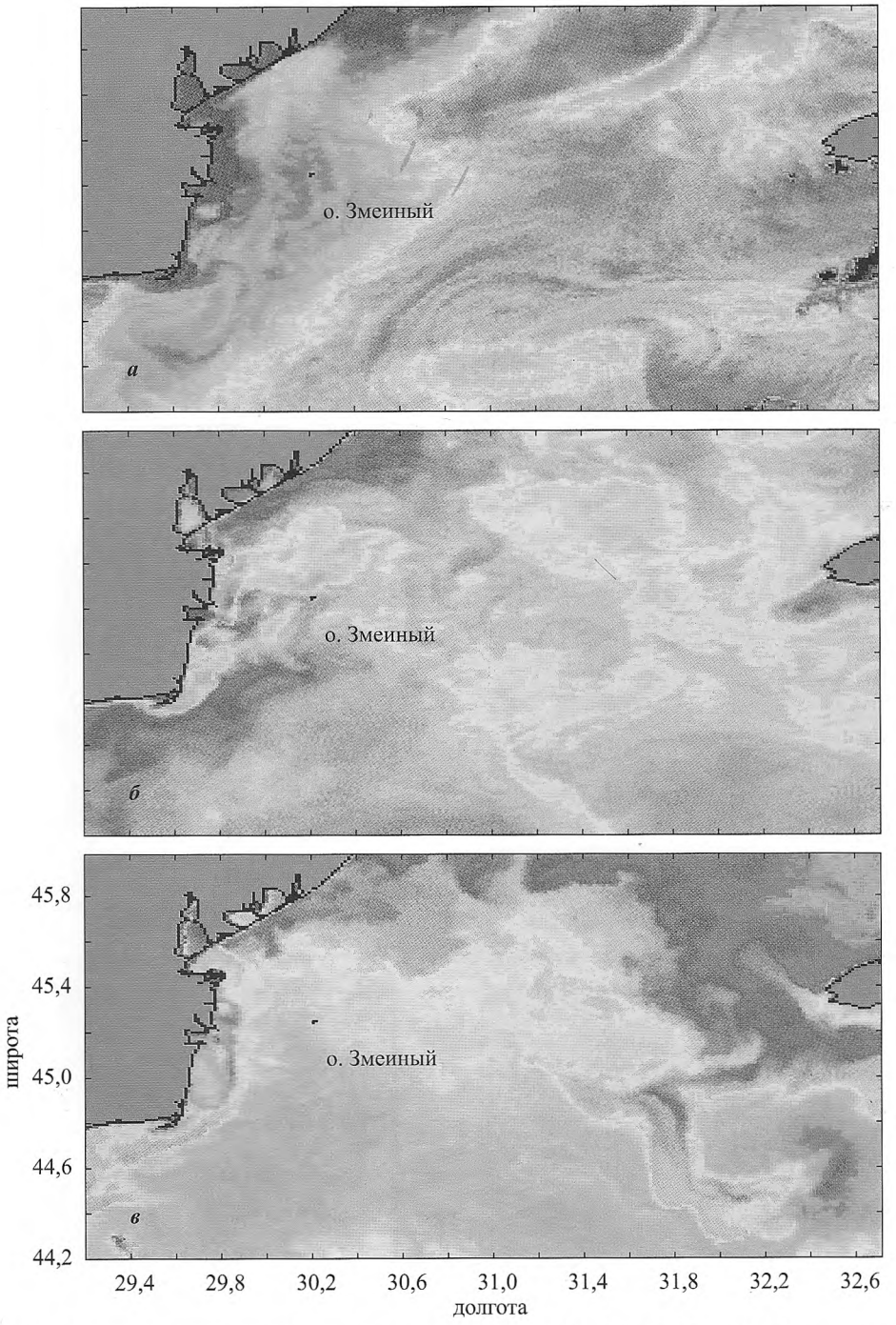


РИС. 1.6.1. Карты радиационной температуры границы «МАКЭС–МАЭС» СЗ области черноморского шельфа Украины по данным ИСЗ NOAA: *а* – 08.05.98 г; *б* – 15.07.98 г; *в* – 12.09.98 г. Шкала цветов: наиболее холодные воды МАКЭС – синий цвет; наиболее теплые – красный цвет; увеличение температуры – оттенки зеленого и желтого цветов; суша – зеленый цвет с черной береговой линией

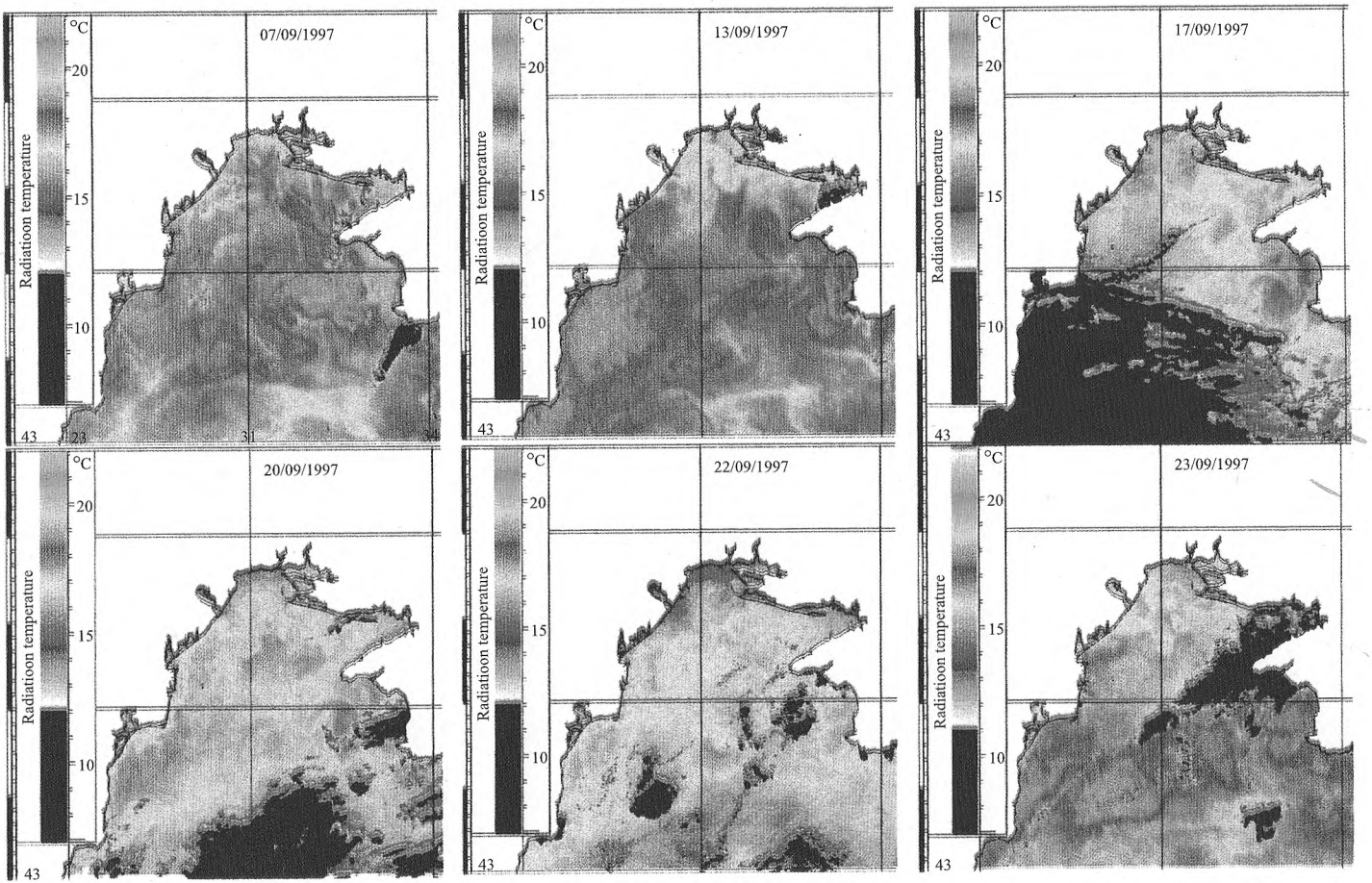


РИС. 1.6.2. Фрагменты карт радиационной температуры границы «МАКЭС–МАЭС» СЗ области черноморского шельфа Украины, построенные по данным спутниковых съемок, сделанных в сентябре 1997 г.: черный и фиолетовый цвета – сплошная и частичная облачность соответственно; белый – суша

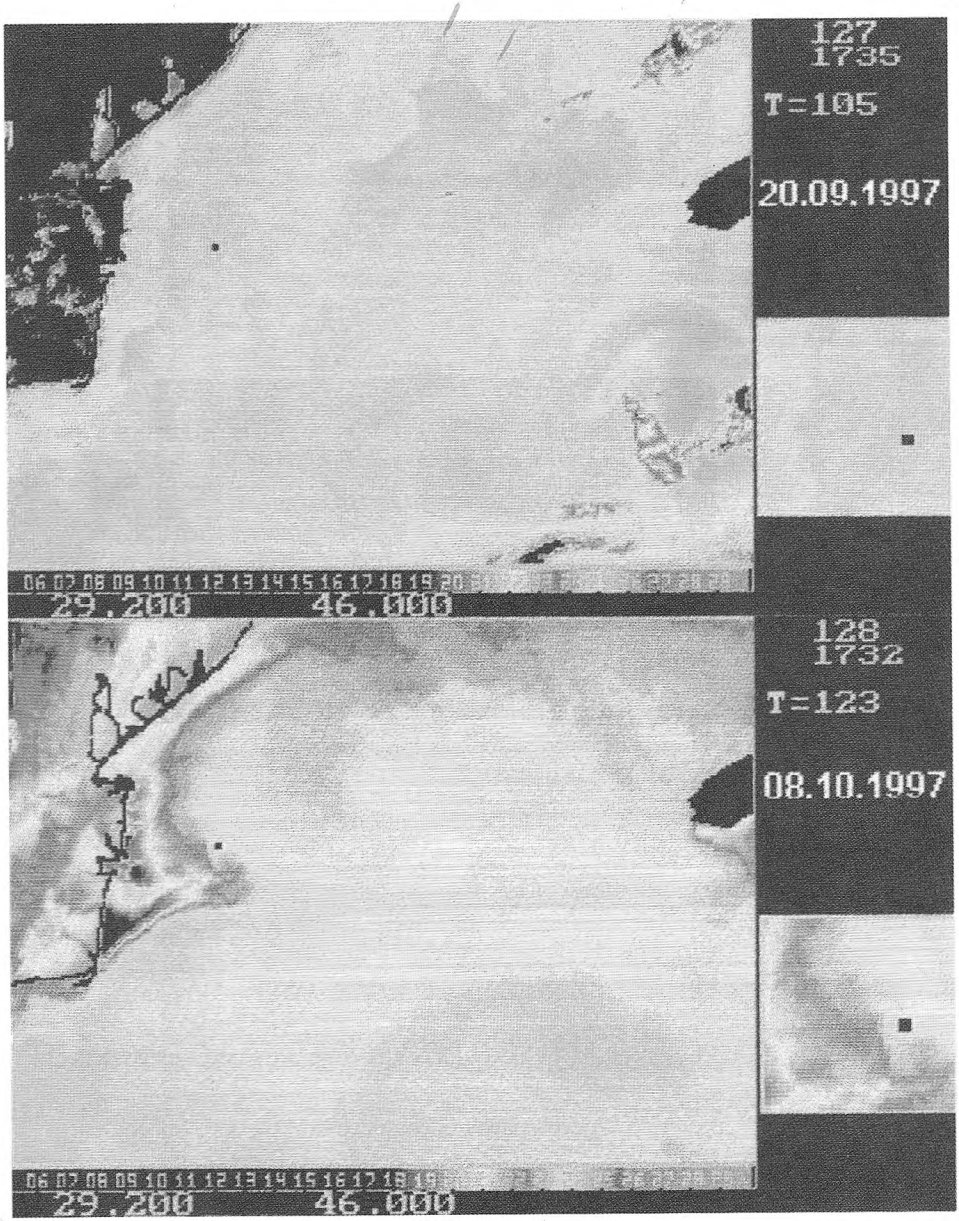


РИС. 1.6.3. Фрагменты карт термической структуры границы «МАКЭС–МАЭС» СЗ области черноморского шельфа Украины в районе о. Змеиный (справа на врезках показаны увеличенные изображения) по данным спутниковых съемок. Съемки осуществляли на ночных витках: черный цвет – суша; на врезках показаны термические структуры границы «МАКЭС–МАЭС» вокруг о. Змеиный

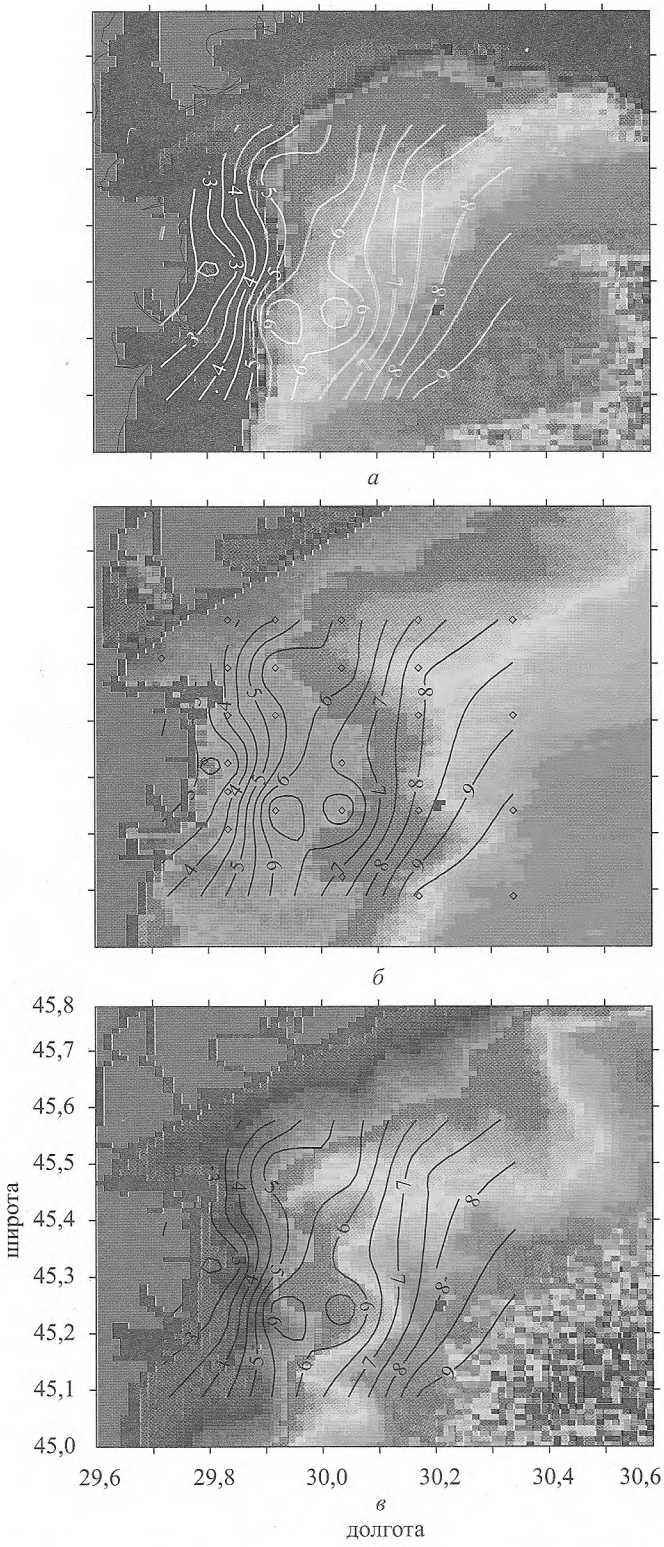


РИС. 1.6.4. Схемы радиационной температуры границы «МАКЭС–МАЭС» в районе черноморского шельфа Украины (*а*), (*б*), (*в*) в декабре 1998 г. по данным ИСЗ «NOAA». Изолинии – температура границы «МАКЭС–МАЭС» по данным судовых измерений 3–6 декабря 1998 г. (18 рейс НИС «Диорит»); сплошной зеленый цвет с черной береговой полосой – суша

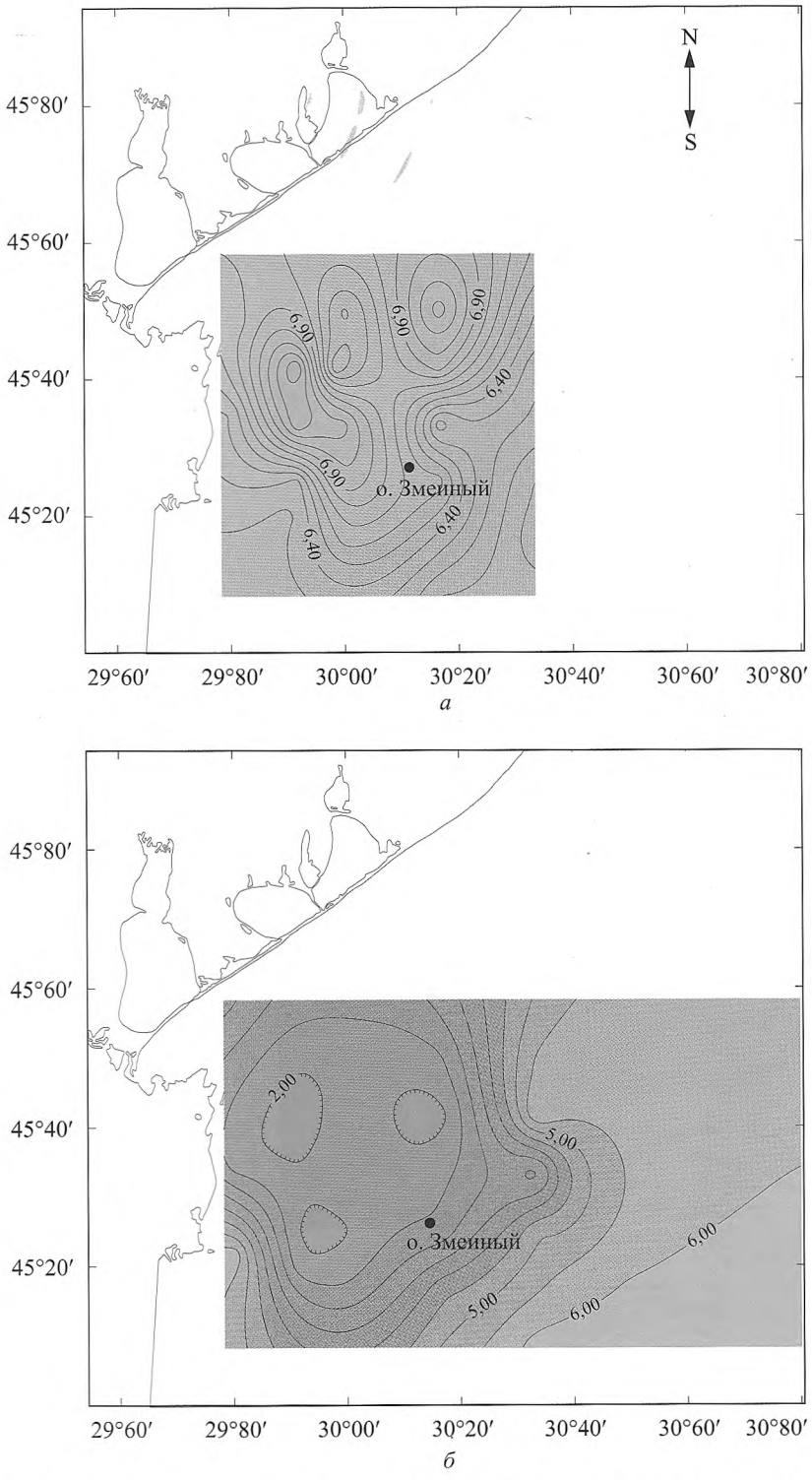


РИС. 2.4.8. Концентрация кислорода в слое МАКЭС на границе с МАЭС (*а*); в слое МАКЭС на границе с МГЭС (*б*), мл/л в районе о. Змеиный СЗ области черноморского шельфа Украины 17–19 сентября 1997 г. (зона гипоксии с концентрациями кислорода < 2,7 мл/л)

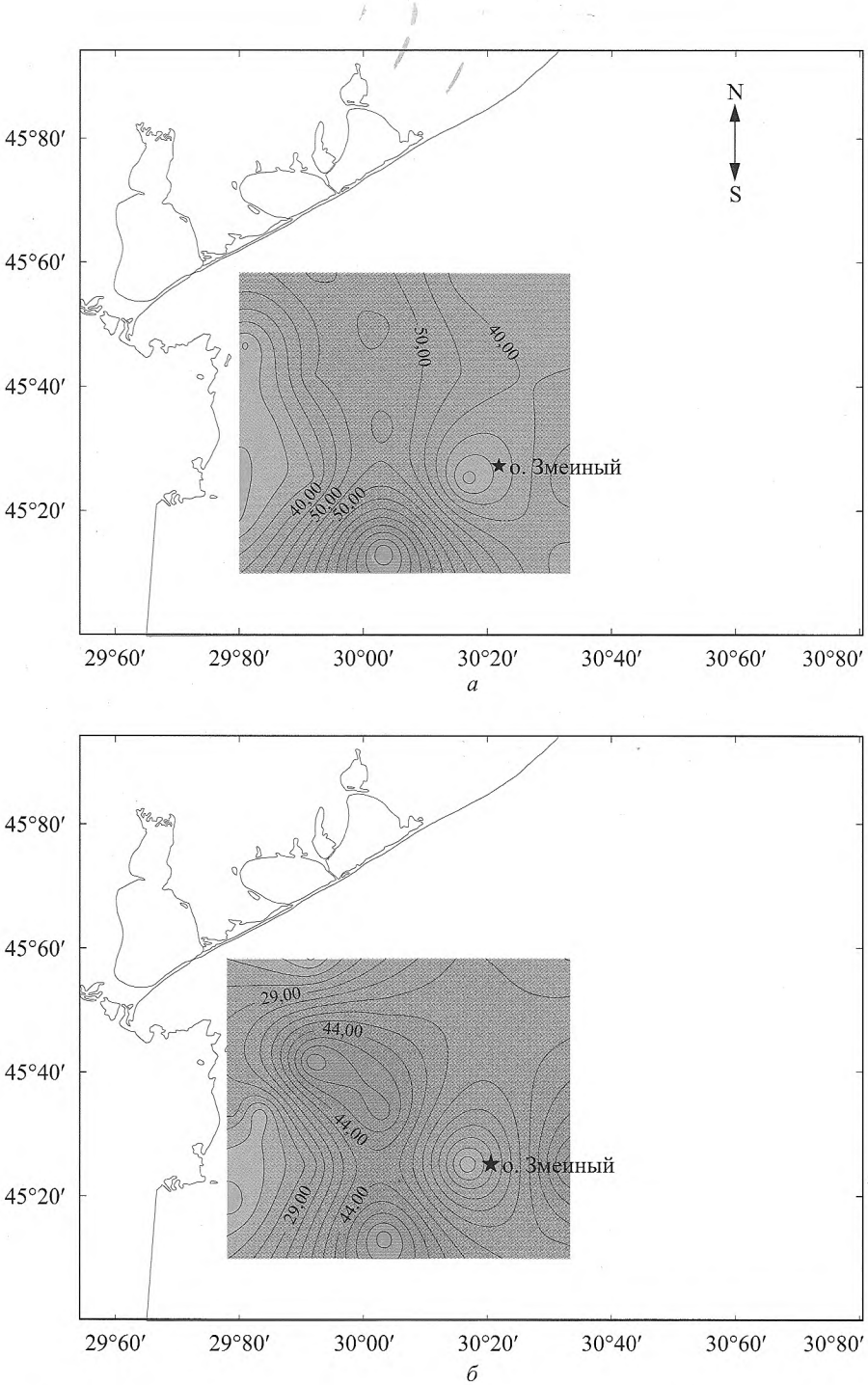


РИС. 3.4.1. Схема распределения концентраций фенолов, мкг/дм^3: *а* – в поверхностном слое водной среды МАКЭС, *б* – в придонном

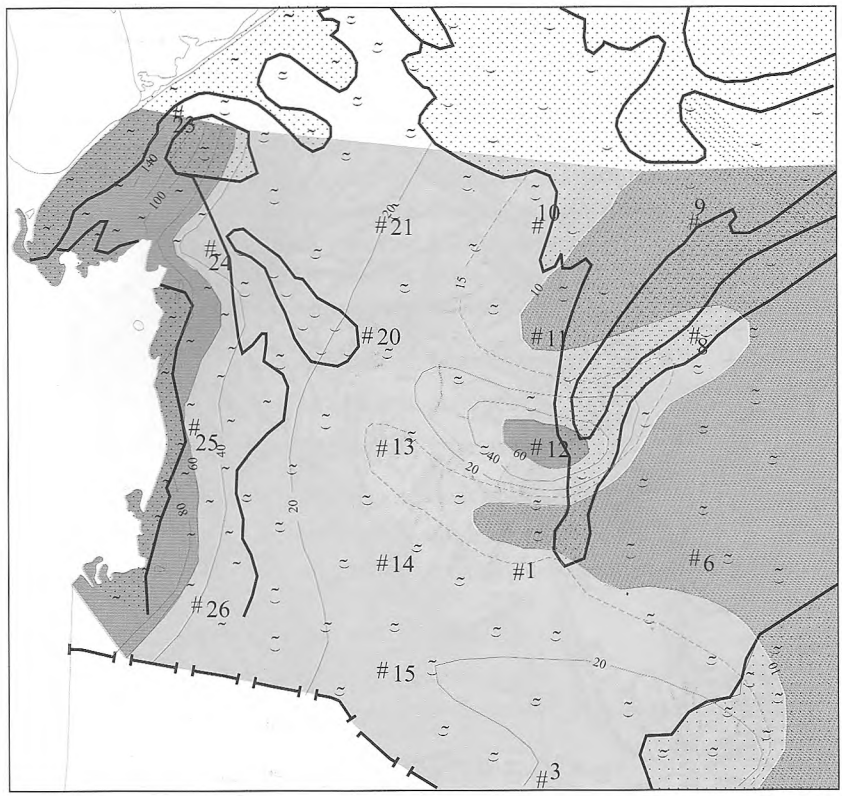


РИС. 3.5.2. Схема содержания ^{137}Cs, Бк/кг в слое МГЭС придунайского района СЗ шельфа на границе с МАКЭС

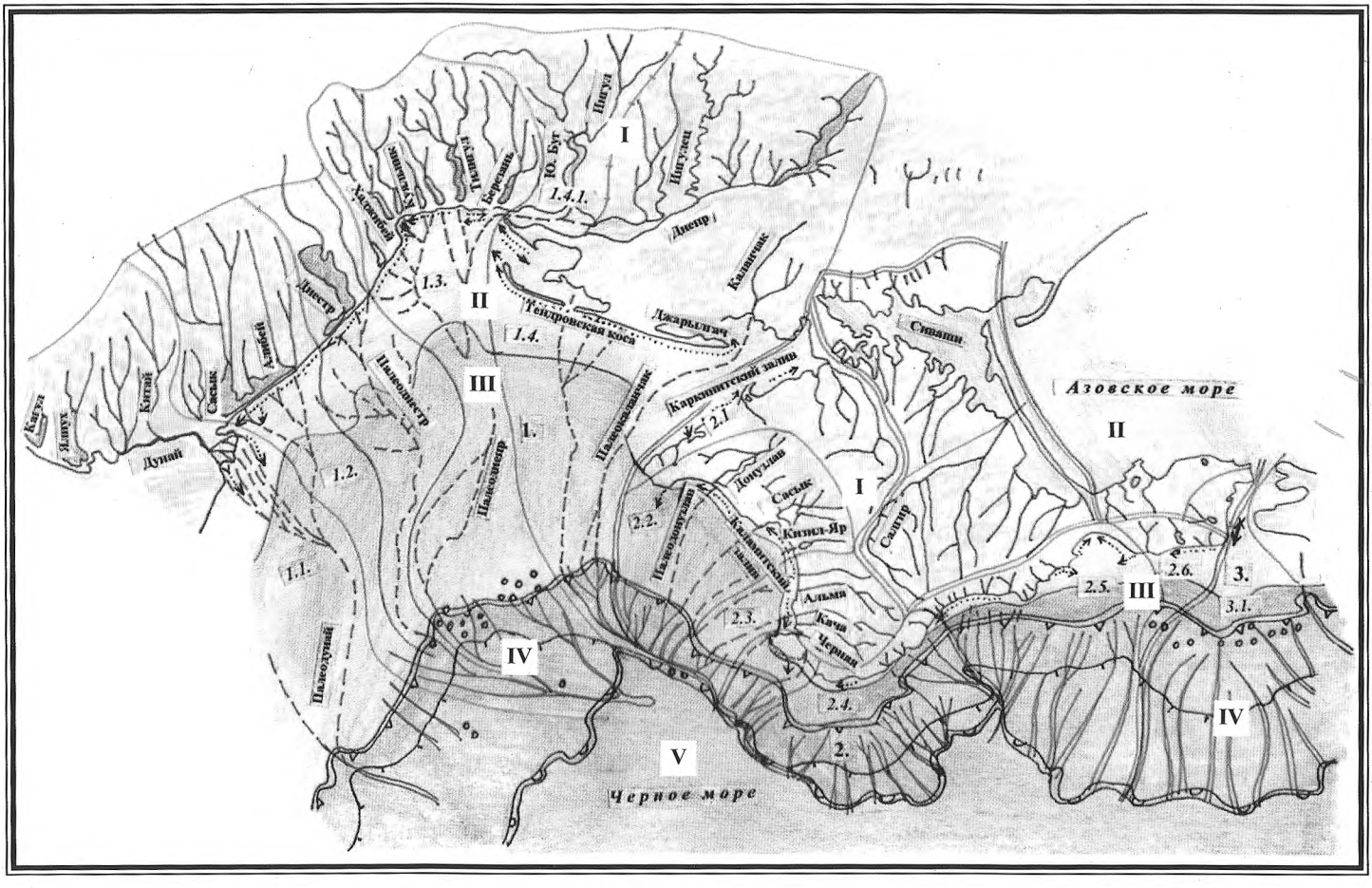


Схема геоэкологического районирования черноморского шельфа Украины и прилегающей части континентального склона Черного моря

Условные обозначения к схеме геоэкологического районирования МГЭС шельфа Украины

Мезогеоэкосистема: мезогеоэкологическая область шельфа Черного моря

1.	Микрогеоэкосистема: Микрогеоэкологический район СЗ шельфа Черного моря
1.1.	Микрогеоэкологический участок: Дунайская МГЭС
1.2.	Микрогеоэкологический участок: Сасыкско-Днестровская МГЭС
1.3.	Микрогеоэкологический участок: Днестровско-Березанская МГЭС
1.4.	Микрогеоэкологический участок: Днепро-Бугско-Каркинитская МГЭС Южно-Бугская МГЭС 1.4.2. Днепровская МГЭС
2.	Микрогеоэкосистема: Микрогеоэкологический район Крымского шельфа
2.1.	Микрогеоэкологический участок: Тарханкутская МГЭС
2.2.	Микрогеоэкологический участок: Западно-Крымская МГЭС
2.3.	Микрогеоэкологический участок: Качинско-Севастопольская МГЭС
2.4.	Микрогеоэкологический участок: Севастопольско-Балаклавская МГЭС
2.5.	Микрогеоэкологический участок: Юго-западная МГЭС
2.6.	Микрогеоэкологический участок: Юго-Восточная МГЭС
3.	Микрогеоэкосистема: Микрогеоэкологический район Керченско-Таманского шельфа
3.1.	Микрогеоэкологический участок: Прикерченская МГЭС
	Границы микрогеоэкологических районов
	Границы микрогеоэкологических участков
	Границы микрогеоэкологических подсистем

Элементы зональности МГЭС

I	Зона активных субаэральных и субаквальных (речных и озерных) экзогенных геологических процессов суши
II	Зона активного волнового воздействия
III	Зона пассивного волнового воздействия
IV	Зона невольной аккумуляции с развитием оползневых процессов и суспензионных потоков
V	Зона глубоководного ложа Черноморской впадины
	Границы зон

Геоморфологические элементы

	Речные долины суши
	Палеоречные долины шельфа
	Каньоны континентального склона
	Бровка верхнего уступа континентального склона
	Уступы континентального склона
	Подошва континентальнрого склона

Прочие элементы

	Береговая линия моря
	Аномальные газовыделяющие объекты (газовые факелы)
	Основные направления потоков наносов в прибрежной полосе

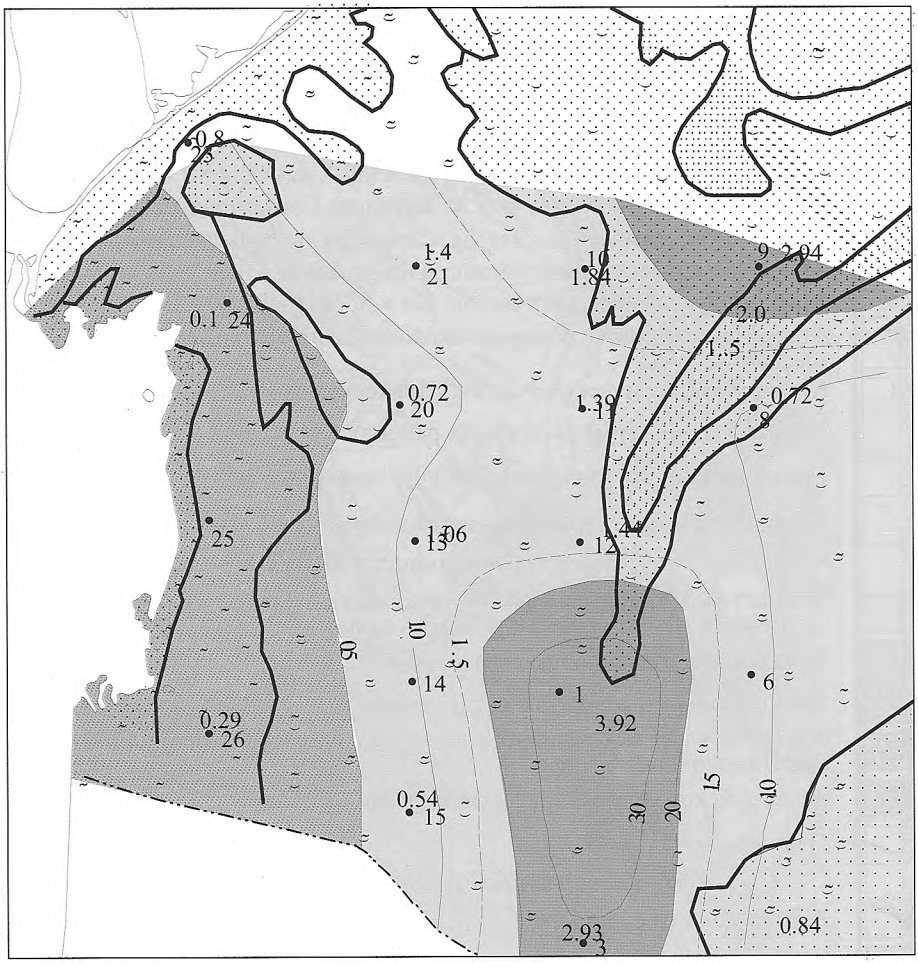


РИС. 3.5.6. Схема содержания ^{90}Sr, Бк/кг в придунайском районе МГЭС, интервал 0–5 см

кации [24]. Проявляется он, прежде всего, в массовой гибели донных и придонных организмов (заморы), выделении в процессе разложения белковых веществ их остатков сероводорода, образование дефицита кислорода на границе «МГЭС–МАЭС» и других признаков неблагополучия в структуре и функционировании МГЭС.

На процессы эвтрофикации Черного моря специалисты обратили внимание уже в середине прошлого столетия. В СЗ части, куда поставляют вещество три наиболее крупные реки – Дунай, Днепр и Днестр, в МАКЭС и МГЭС наблюдается повышение концентрации соединений азота и фосфора, численности клеток фитопланктона, особенно перидиниевых водорослей. В 70-е годы XX ст. участились заморы донных организмов. В частности, только в экономической зоне Украины заморы ЖК на СЗ шельфе охватили на глубинах меньше 35–30 м площади около 10 тыс. км^2 [19]. Увеличение мутности жидкого компонента МАКЭС вследствие массового размножения фитопланктона понизило освещенность границы «МГЭС–МАЭС» и ухудшило, а на отдельных участках исключило возможность развития макрофитобентоса, являющегося основным генератором кислорода в МГЭС шельфовой и переходной, прибрежно-морской групп. Антропогенная химическая нагрузка на экосистему Черного моря вызвала изменения геохимического состава сублиторальной МГЭС и биохимического состава ее ЖК, изменение его видового состава и роли в формировании и функционировании, главным образом, прибрежно-морской и шельфовой геоэкосистем [25–27 и др.].

Все вышесказанное говорит о том, что значительная часть сублиторальной МГЭС Черного моря подвергается рисковым изменениям уже на протяжении десятилетий, что подтверждается данными многих, в т. ч. и наших исследований [3]. Например, в пределах МГЭС западной части Черного моря выделяются четыре основные зоны, четко отличающиеся, в частности, ролью макроорганизмов в формировании их структур и функционировании. Особо выделяется участок сублиторальной МГЭС, прилегающий к междуречью Дунай-Днепр. Это зона свершившегося экологического кризиса, что подтверждается, наряду с данными про содержание различных загрязнителей [26–28 и др.], отсутствием либо крайней бедностью живого макрокомпонента в соответствующей МГЭС. В районе Каркинитского залива МГЭС менее нарушена и функционирует более или менее нормально, о чем свидетельствует заметная роль в ней ЖК, в частности организмов макрозообентоса. Исключением являются отдельные локальные участки, занимающие понижения дна, в которых развиваются застойные явления, обусловливающие периодически полную или частичную гибель фауны ЖК. Характерно, что МГЭС со слабыми проявлениями функционирования макрозообентоса занимают примерно половину плащади наиболее продуктивного северо-западного шельфа Черного моря [11].

Зоны наименьшей нарушенности, согласно критерию современной активности макрофауны, наблюдаются в большинстве МГЭС прибрежно-морской

группы в районе Каркинитского залива и у Крымского побережья. МГЭС Джарылгачского и Тендровского заливов в последние десятилетия подвергаются значительному антропогенному стрессу. Об этом говорят и многочисленные данные о существенной деградации входящего в их структуру ЖК под воздействием нарушающих факторов, обусловленных главным образом последствиями функционирования различных ирригационных и других технических систем в прибрежных районах прилегающей суши [26–28]. Активное функционирование макробентоса наблюдается также на участке шельфовой МГЭС в районе 50-метровой изобаты, южнее о. Змеиный. В мористой части СЗ области зона приконтинентальной МГЭС, характеризуемая слабой биотурбацией, ограничена глубинами 140–150 м. Глубже биотурбация практически полностью отсутствует вследствии сероводородного заражения не только МГЭС, но и пограничных слоев МАКЭС.

Отметим, что картина зонирования МГЭС западной части черноморского шельфа за пределами экономзоны Украины, несколько отличается [11]. В целом, экологическая обстановка в этой области более благоприятная.

В МГЭС черноморского шельфа Украины, примыкающих к западной части Южного берега Крыма, роль ЖК относительно высока, хотя и здесь прослеживаются отмеченные выше тенденции к ослаблению активности, в частности, макрозообентоса, изменению его видового состава и количества.

При сравнении полученных данных с результатами исследований черноморского макробентоса, опубликованными ранее, прослеживается значительное общее снижение роли живого вещества макробентоса в формировании структуры и функционировании шельфовой МГЭС Черного моря, особенно ее СЗ и западной частей [17, 20, 25 и др.]. Литературные данные в частности показывают существенное уменьшение в 70–90-е годы XX ст. значения брюхоногих моллюсков и ракообразных, а также общее снижение видового разнообразия встречаемых макроорганизмов. Среди последних значительно уменьшилось количество сестонофагов (особенно на западном шельфе) и увеличилось представительство детритофагов и депозитофагов. В СЗ районе практически полностью деградировало «филлофорное поле Зернова» – очень важный функционирующий компонент экосистемы не только западной части, но и всего Черного моря. В шельфовой группе МГЭС отмечается доминирование быстроразмножающихся макробеспозвоночных, способных к быстрому возобновлению популяций. Судя по полученным нами и опубликованным данным [11, 17 и др.], изменились и глубины привычных зон местообитания основных бентосных макроорганизмов. Например, если около 25 лет назад максимальная численность мидий отмечалась на глубинах около 50 м [19], то в 1989 г. на глубинах более 45–47 м живые экземпляры указанных моллюсков, судя по полученным нами данным, отсутствовали. При этом в нижележащих, более древних слоях донных отложений находилось значительное количество крупных створок мидий. Определенный сдвиг в сторону меньших глубин отмечается и на основных площадях

обитания моллюска фазеолины. Причем происходит это на фоне значительного уменьшения удельного количества экземпляров данного моллюска в местах, считавшихся ранее ореолами его основного распространения. Отметим, что количество живых фазеолин на глубинах более 60 м в полученных образцах не превышало 10 экз./м^2, тогда как 20–25 лет назад количество живых экземпляров указанного моллюска на тех же площадях было значительно больше [19].

Учитывая возрастающее антропогенное влияние на черноморскую экосистему в целом и ее геологическую подсистему в пределах черноморского шельфа Украины в частности, актуальная задача геоэкологии Черного моря это выявление, исследование и сравнительная оценка причин нарушений его МГЭС и ее пространственных подсистем. Важным условием эффективности применяемой при этом методологии является использование понятия элементарных причин нарушений и системного подхода к рассмотрению разнообразия их категорий [3]. Анализ полученного фактического материала и опубликованных данных позволяет утверждать, что на МГЭС черноморского шельфа Украины активно воздействуют практически все классы, типы и виды известных элементарных причин нарушений, а также большинство их подвидов. Безусловно, воздействие перечисленных категорий таких причин на различные пространственные подсистемы изучаемой МГЭС неодинаково. Исследования в этом направлении лишь начаты и, вероятно, поэтому до настоящего времени отсутствуют достаточно совершенные критерии количественной оценки указанных причин и последствий их воздействия. Тем не менее, уже сегодня имеющаяся по данному вопросу информация позволяет проводить качественную оценку нарушений различных пространственных подсистем МГЭС, а также говорить о существующих или наиболее вероятных элементарных причин их нарушений. Важной составляющей методологии такой оценки является сравнительный ретроспективный анализ изменений различных характеристик компонентного состава, системных свойств, функционирования и состояния изучаемой МГЭС, а также основных источников и механизмов поставки в нее вещества, информации и энергии в течение достаточно длительного временного интервала.

При оценке воздействия (или его вероятности) на МГЭС каких-либо нарушающих факторов, рисковых изменений или стрессовых ситуаций использовались фактические данные за последние 30–50 лет об изменении видового состава и активности макрозоо- и макрофитобентоса, входящих в состав ЖК МГЭС черноморского шельфа Украины. Кроме того, привлекались литературные свидетельства о возрастании (в течение примерно этого же периода) в разных частях изучаемой МГЭС содержания тяжелых металлов, ОВ, инородных механических примесей, сероводорода, радионуклидов и других составляющих тех или иных категорий элементарных причин нарушений. Обобщение значительного количества данных о динамике различных геологических, биологических, химических, физических и экологических характеристик позволяет утверждать, что практически вся МГЭС черноморского шельфа Украины в той или иной степени подвержена влиянию нарушающих факторов.

МГЭС черноморского шельфа Украины, являясь подсистемой экосистемы уникального по своим геолого-геоморфологическим, гидрохимическим, гидрологическим и другим условиям внутриконтинентального морского бассейна, испытывает влияние как внешних, так и внутренних нарушающих факторов [3]. Нарушающие факторы, отнесенные нами к внешнему подклассу, представлены практически всеми типами и видами : абиогенными (геологическими, химическими, физическими, комплексными), биогенными (биологическими, антропогенными, комплексными) и экогенными (компексными). Среди наиболее активных подвидов внешних абиогенных геологических нарушающих факторов, например, можно назвать дегазацию мантии и земной коры, субмаринные источники, оползни и др. Многочисленные исследования показывают, что отдельные участки черноморской МГЭС в настоящее время подвергаются особенно активному воздействию химических нарушающих факторов, которые включают в себя подвиды биогеохимических, экотопических, генетических, трофических, ценотических и других девиаторов в различных формах (гербицидов, пестицидов, промышленных и (или) сельско-хозяйственных отходов). Элементарные нарушающие факторы физического вида, вероятно, действуют на МГЭС черноморского шельфа Украины также в основном на локальных участках. Особенно четко эти факторы проявляются там, где ведется гидротехническое строительство, осуществляются выбросы аномальных по температуре, крупности и другим физическим показателям отходов или продуктов. Но чаще они являются комплексными. В них трудно выделить какой-либо из подвидов или даже видов элементарных нарушающих факторов.

В процессе своего формирования и функционирования рассматриваемая МГЭС периодически была и есть открытой для организмов, обитающих в других экосистемах, особенно в средиземноморской. В то же время человек, являясь ЖК экосферы и ряда составляющих ее экологических подсистем, также оказывает возрастающее воздействие на МГЭС черноморского шельфа в процессе своей жизнедеятельности (добыча полезных ископаемых, морепродуктов, дампинг, сброс жидких отходов и др.). Таким образом, эта МГЭС подвергается влиянию основных видов и подвидов биогенных элементарных нарушающих факторов. Кроме того, воздействуют и внешние комплексные нарушающие факторы. К ним, в частности, можно отнести процессы аномального характера, происходящие в МАКЭС и (или) в МАЭС, а также новые, пока не изученные системные нарушающие факторы.

Среди различных категорий элементарных нарушающих факторов внутреннего подкласса, которые активно влияют на МГЭС черноморского шельфа Украины, также могут быть выделены три основных типа: абиогенный, биогенный, экогенный объединяющих ряд видов нарушающих факторов. Внутренний абиогенный геологический вид указанных факторов включает в себя, например, следующие подвиды: минералообразование, породообразование и др. Подвиды химического вида элементарных нарушающих факторов пред-

ставлены, к примеру, попавшими в МГЭС чуждыми химическими веществами, нарушением химических связей, аномальными химическими процессами и др. Физический вид нарушающих факторов также объединяет различные подвиды (например, изменения температуры или радиоактивного излучения внутри системы и др.). Обычно же внутренний абиогенный элементарный нарушающий фактор представлен комплексным видом, как и внутренний биогенный элементарный нарушающий фактор, а тем более, экогенный элементарный нарушающий фактор, порождающий новые системные нарушающие факторы. По-видимому, степень влияния на МГЭС черноморского шельфа Украины каждой из выделенных категорий нарушающих факторов должна изучаться в каждом конкретном случае отдельно, исходя из необходимости решения определенных задач.

Воздействуя на МГЭС достаточно длительное время, как правило, комплексный нарушающий фактор, имеющий мощность, достаточную для преодоления толерантности отдельных компонентов изучаемой геоэкосистемы, приводит к возникновению в последней рисковых изменений. Эти изменения уже сами по себе могут рассматриваться в качестве элементарных причин нарушений отдельного класса, объединяющего, в свою очередь, различные подклассы, типы, виды и подвиды элементарных рисковых изменений. Ограниченный обьем настоящей работы не позволяет подробнее остановиться на описании каждой из выделенных категорий таких изменений МГЭС черноморского шельфа Украины. Отметим только, что, например, геологический вид элементарных рисковых изменений черноморской МГЭС включает в себя широкий спектр нарушений, в частности, изменение типа литогенеза и (или) его стадий, процессов дегазации нижележащей осадочной толщи, условий миграции литофильных, халькофильных и сидерофильных элементов, а также жидкого компонента системы и др. В случае, когда при рисковых изменениях рассматриваемой МГЭС она продолжает подвергаться активному влиянию каких-либо нарушающих факторов, то сочетание таких изменений и нарушающих факторов может стать причиной возникновения следующего класса причин нарушений – элементарной стрессовой ситуации. Последняя может быть вызвана и без предварительного долгосрочного рискового изменения, например, в результате так называемых стихийных бедствий. Однако, как показывает анализ имеющегося материала, для прибрежно-морских МГЭС черноморского шельфа вполне реальны и наиболее опасны стрессовые ситуации, обусловленные научно необоснованной и экологически безграмотной антропогенной деятельностью. Классическим примером стрессовой ситуации, вызванной в основном антропогенными нарушениями МГЭС, являются современные условия функционирования СЗ части черноморской геоэкосистемы [11, 27], а также условия функционирования МГЭС, существующие на локальных участках дна, на которых ведется антропогенная деятельность или которые подвергаются ее активному и долгосрочному воздействию (порты, плантации марикультуры, участки дампинга и др.).

Стрессовые ситуации на разных участках МГЭС черноморского шельфа Украины проявляются, например, в дисгидродинамии, дисфотии, дисхемии, ослаблении способности к самоочищению, в эвтрофикации, в нарушении пищевых цепей и пирамид и др., т. е. нарушаются многие компоненты структуры рассматриваемой МГЭС, включая ряд связей и взаимодействий внутри ее компонентной, процессуальной и функциональной подсистем. Тем не менее, толерантность черноморской МГЭС, испытывающей стрессовые ситуации, продолжает еще в значительной степени сохраняться, и при достаточно оперативном научно обоснованном вмешательстве извне эта экосистема может, пусть с некоторыми структурными изменениями, восстановиться. Однако, если нарушающие факторы, рисковые изменения и стрессовые ситуации будут сохраняться и воздействовать на рассматриваемую МГЭС с возрастающей интенсивностью, а никакие меры, направленные на исправление ситуации, не будут предприниматься, то изучаемая геоэкосистема через какое-то время деградирует.

В заключении подчеркнем, что причины нарушений МГЭС черноморского шельфа Украины сложны и многообразны, тесно связаны между собой и проявляются обычно в сочетаниях друг с другом. Эти сочетания различных категорий причин нарушений могут вызывать появление новых, системных нарушающих факторов, рисковых изменений и стрессовых ситуаций. Следует отметить необходимость дальнейших работ по районированию геоэкосистемы черноморского шельфа Украины, особенно на основе разработки эффективных качественных и количественных критериев их функциональной дифференциации.

ГЛАВА 3

Геоэкологическое районирование черноморского шельфа Украины

Геоэкологическое районирование черноморской части шельфа Украины отражает сложную пространственную дифференциацию естественных зон по их геоэкологическим условиям и динамику изменения этих условий. Согласно принятой методологии дифференцирования морских геоэкосистем, за основную природную единицу геоэкологического районирования черноморского шельфа Украины, а также прилегающих районов приморской суши и континентального склона, принята микрогеоэкосистема, включающая в себя микрогеоэкологические подсистемы приморских районов суши, различных районов черноморского шельфа Украины и смежных районов континентального склона, вплоть до его подножья, объединяющих участки континентальных геоэкологических подсистем приморской зоны и МГЭС смежных участков акватории. Выделенные геоэкосистемы отличаются компонентной структурой, режимом функционирования, характеристиками свойств и динамики смежных аэро- и акваэкосистем, поступлением и выносом веществ, бюджетом наносов и т. д. В эти геоэкосистемы включены источники поступления твердых, жидких, аэрозольных и других, в т.ч. загрязняющих компонентов, зону их миграции и участки аккумуляции. Практически такая микрогеоэкосистема объединяет в качестве подсистем экологическую подсистему основного водотока, устьевой участок этого водотока, водораздельную поверхность данного района и прилегающий участок акватории черноморского шельфа, откуда берет начало вдольбереговой поток веществ, перемещающийся как в пространстве экосистемы шельфа, так и, в частности, по системам каньонов – в экосистему подножья континентального склона.

Разнообразные загрязнители поступают в экосистему Черного моря в составе твердых и жидких веществ, приносимых в нее с речным и подземным стоком, аэрозолями, выпадающими из атмосферы, газовыми эманациями из различных источни-

ков, балластовыми водами судов и др. Будучи в той или иной степени связанными с компонентами МГЭС они участвуют в формировании их структуры. Как в МАКЭС, так и в МГЭС происходит либо накопление различных веществ, энергии и информации, либо их рассеивание в пространстве экосистемы.

Прибрежно-приморский геоэкотон черноморского шельфа Украины неоднороден по своим орогидрографическим, гидрологическим и морфометрическим характеристикам, кроме того, он испытывает неодинаковую техногенную нагрузку. Все это создает определенную специфику в поступлении веществ и связанных с ними загрязнителей, а также энергии и информации с соответствующих водосборных площадей, их рассеивание и концентрацию, в частности, в пространстве изучаемой МГЭС. Большую роль в поступлении веществ и связанных с ними загрязнителей в МГЭС имеет также субмаринная разгрузка подземных вод, в частности, постоянно действующий подрусловой сток, особенно в пределах затопленных речных палеодолин, широко развитых на шельфе Черного моря [29 и др.]. Все эти факторы и обусловливают своеобразие геоэкогенетических процессов, включая их антропогенную составляющую в виде техногенного загрязнения, в каждом из выделенных морских геоэкологических районов.

Такие районы можно также рассматривать как природно-территориальные комплексы системы «береговая зона – подводный каньон – конус выноса», объединяющие континентальные геоэкосистемы и МГЭС акватории моря и связанные между собой общностью геологического строения и развития, одинаковыми гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями, единой областью мобилизации, транзита и аккумуляции, в т. ч. загрязнителей.

В рамках геоэкосистемы черноморского шельфа Украины выделяются также основные орогидрографические и морские литодинамические системы. По таким системам происходит накопление, транзит и разгрузка, и вновь накопление или рассеивание, но уже в МГЭС шельфа, составляющих жидкого и твердого компонентов, в т. ч. и загрязняющих веществ, а также стока речных аквасистем. При этом в процессуальную подсистему геоэкосистемы шельфа включаются литодинамические и абразионные процессы. Антропогенные процессы также являются активным компонентом процессуальной подсистемы шельфовых геоэкосистем, и выступают в качестве влиятельных агентов воздействия на подсистему геологической среды и подсистему ЖК.

Геоэкосистемы черноморского шельфа Украины, в т. ч. МГЭС донных отложений, являются системами управляемыми. Управляются они путем осуществления, в частности, плановых мероприятий по изменению, например, количественного и (или) качественного состава потоков веществ, включая загрязнители, и (или) снижения негативных последствий антропогенного воздействия на окружающую среду и т. д.

Подсистемы литокомпонентов МГЭС донных отложений черноморского шельфа Украины образуются в результате: поставки вещества, поступающего с поверхности водораздельных пространств приморских областей континента

при площадном смыве и процессах боковой и линейной эрозии в поверхностные водотоки (элювиально-делювиальные, пролювиальные и коллювиальные разности фаций: почвенный горизонт, суглинки, глины, фациальные разновидности различных четвертичных и дочетвертичных пород). Ведущими процессами при этом являются эрозия, денудация, поставки веществ с твердым стоком рек (аллювиальные разности речных фаций: пески, илы, в т. ч. гидротроилитовые, глинистые, песчанистые, ракушечники, детрит и т.д.). Образуются геоэкосистемы *авандельт, кос, лиманов, пересыпей, баров, подводных валов, палеодолин*. Ведущие процессы в МГЭС – аккумуляция и седиментация.

Поставка вещества в результате абразии клифов (илы, алевриты, пески, различные терригенно-обломочные фации коренных пород, слагающих абразионные участки берегов. Образуются геоэкосистемы *лагун, мелководий, подводных гряд, уступов шельфа*. Продукты абразии составляют значительную часть объема компонентов, транспортируемых в пространстве шельфовой МГЭС вдольбереговыми потоками водной среды МАКЭС, и литокомпонентов геоэкосистем подводных аккумулятивных тел. Ведущими при этом являются абразионно-оползневые, денудационные и аккумулятивные процессы.

Перераспределение вещества геологической среды черноморского шельфа Украины (терригенные, биогенные и хемогенные илы, алевриты, пески, детрит, ракушечники, коренные осадочные породы; минеральные соли и связанные элементы, выпадающие в осадки на порогах геохимических барьеров) осуществляется такими процессами как терригенная и биогенная седиментация, эрозия, аккумуляция, гальмиролиз и др.

Для сравнения отметим, что подсистемы литокомпонентов МГЭС континентального склона Черного моря образуются в результате накопления разнообразных илов, алевро-пелитов, песков, выходов коренных осадочных, метаморфических и магматических пород (обломочно-терригенные фации подножья уступа склона; грязевулканические брекчии и др.). Ведущими при формировании литокомпонента МГЭС континентального склона являются седиментационные, биогеохимические, грязевулканические процессы, турбидитовые потоки и др.). В формировании рельефа границы «МГЭС–МАКЭС» наиболее активно участвуют аккумулятивные, подводно-эрозионные, гравитационные процессы.

Для каждой из выделенных подсистем МГЭС черноморского шельфа Украины характерны своеобразные процессы формирования компонентного состава, образования рельефа границы «МГЭС–МАКЭС», приведшие к формированию определенных МГЭС как вещественно-генетических и структурных единиц геоэкосистем более высокого уровня. Для каждой такой единицы подсистемы МГЭС характерны специфический, литологический и гранулометрический составы твердого компонента, определенные характеристики жидкого, газового и живого компонентов, характерные геохимические и физико-механические свойства, влияющие на ее экологическую избирательность при разнообразном природно-антропогенном воздействии и др.

Зональность геоэкосистемы черноморского шельфа Украины. В пространстве геоэкосистемы шельфа Украины могут быть выделены следующие зоны:

Зона черноморского шельфа Украины активного влияния субаэральных и субаквальных (речных и озерных) экзогенных геологических процессов суши.

Литодинамические подсистемы геоэкосистемы этой зоны объединяют орогидрографические системы, поставляющие материал в экосистемы, в т. ч. МГЭС, Черного и Азовского морей. По результатам морфометрического анализа эта зона охватывает основные базисные поверхности водоразделов 4 и 5 порядков. При выделении зоны учитывался и характер распределения (простирания) орогидрографических систем, подчиненный, безусловно, тектоническому фактору и морфоструктурным особенностям конкретных регионов, районов и т.д. Ширина данной зоны различна.

В формировании природных ландшафтно-геохимических условий этой зоны определяющую роль играют элювиальные субаэральные процессы. Для этой зоны характерны: ландшафты хорошо дренированных возвышенностей с относительно глубоким залеганием грунтовых вод, где преобладают процессы перехода химичеких элементов из менее подвижных форм в более подвижные; трансаккумулятивные супераквальные ландшафты (тяготеют к понижениям рельефа с близким к поверхности залеганием грунтовых вод, в которых наблюдается постепенный переход химических элементов из более подвижных форм в менее подвижные); трансэлювиальные субаэральные ландшафты (преобладают процессы перемещения химических элементов в пространстве); береговые ландшафты, для которых характерны абразионные, абразионно-оползневые, абразионно-обвальные процессы, развитые, как правило, на устьевых участках рек и в береговой полосе, а также аккумулятивные процессы (в зоне пляжей) и аккумулятивно-эрозионные процессы (в устьевых частях рек).

Это зона, в которой формируются лиманный, дельтовый, приустьевой, литоральный виды МГЭС. На границах отдельных видов геоэкосистем этой зоны и их подсистем большую роль играют геохимические барьеры. В частности, взаимодействие компонентов двух экосистем – компонентов МГЭС и химически активной частью компонентов МАКЭС, активизирует подводное химическое выветривание и приводит к изменению свойств МГЭС.

Зона черноморского шельфа Украины активного волнового воздействия охватывает относительно мелководную (глубина до 30 м) сублиторальную зону шельфа Черного моря, в которой сформировалась и функционирует МГЭС сублиторального вида.

Ширина зоны варьирует от 2,5 км у берегов Южного берега Крыма до 5 км у западного побережья Крыма, от 25 км у Феодосийского залива до 50–75 км у побережий Придунайской и Причерноморской равнин. Это зона активных литодинамических процессов. К ней приурочены устья многочисленных лиманов. В этой зоне преобладают трансаккумулятивные субаквальные процессы, а при участии локальной аккумуляции в МГЭС твердых веществ, выносимых

с речным стоком из элювиальных и субаквальных ландшафтов, формируются подводные ландшафты мелководий.

Скорость расширения пространства сублиторальной МГЭС изменяется с глубиной границы «МГЭС – МАКЭС»: наиболее высокие их значения (25–70 см /тыс. лет и более) относятся к глубинам свыше 40 м. На глубинах менее 25 м скорости осадконакопления составляют 2–15 см /тыс. лет.

Учитывая огромные объемы речного стока, особенно в СЗ части Черноморского шельфа, и связанных с ним загрязнителей, такие низкие значения скоростей седиментации свидетельствуют о преимущественном транзите осадочного материала и загрязняющих веществ через эту зону.

Зона черноморского шельфа Украины пассивного волнового воздействия. К ней относится обширная область МГЭС СЗ и Прикрымского шельфа, расположенная между зоной активного волнового воздействия и уступом континентального склона. Здесь формируется и функционирует элиторальный вид МГЭС. Преобладающий процесс формирования рельефа границы «МГЭС – МАКЭС» – аккумулятивный. Большое значение в смежной МАКЭС приобретают гидродинамические явления в квазистационарных циклонических круговоротах, в которых происходит нисходящее движение потоков ее водной среды.

В МАКЭС открытой части моря развиты преимущественно циклонические движения потоков более холодных, соленых и сравнительно чистых вод. Районы их подъема и опускания сообщаются между собой и образуют сбалансированную систему поперечной циркуляции. Если уровень антропогенного загрязнения не превышает естественных возможностей МАКЭС к самоочищению, то загрязненные массы, опускающиеся с границы «МАЭС–МАКЭС» в зону пассивного волнового воздействия, постепенно очищаются, поднимаются вновь к указанной границе и поддерживают в соответствующем слое водной среды МАКЭС нормальный экологический фон.

Ландшафты зоны по условиям миграции относятся к аккумулятивным субаквальным в областях конечной аккумуляции химических элементов. Как было установлено, во время крупномасштабных паводковых явлений массы осадочного материала не только входят в качестве компонента в соответствующие приустьевые, сублиторальные и элиторальные МГЭС, но и выносятся за пределы данной зоны шельфа и перемещаются по каньонам континентального склона к его подножью. Эти явления характерны для черноморского шельфа Украины.

Зона черноморского шельфа Украины неволновой аккумуляции с развитием оползневых процессов и суспензионных потоков полностью приурочена к области континентального склона Черного моря. В этой зоне формируется и функционирует группа МГЭС континентального склона. Основу их процессуальных подсистем составляют процессы гравитации и эрозии, сопровождающиеся активными площадными и избирательно линейными деструктивными явлениями, а также аккумуляцией материала в МГЭС континентального подножья.

Гравитационное перемещение МГЭС обусловлено активизацией эндо- и экзогеодинамических процессов (что особенно характерно для южнобережного сектора Крыма). Эти процессы вызывают нарушение равновесного состояния склонов. Кроме того, перенасыщенность МГЭС жидкой фазой в т. ч. из-за, постоянно происходящей субмаринной разгрузки подземных вод по палеодолинам и разломно-трещинным тектоническим зонам также способствует активизации гравитационных процессов. На СЗ шельфе особенно часто она наблюдается на участках, приуроченных к верховьям каньонов палеорек.

Гравитационные процессы в геоэкосистемах черноморского шельфа Украины проявляются следующим образом:

Криповые перемещения – сползание несвязной массы или медленное текучее движение пластичных илистых МГЭС в местах, где уклон склона равен или близок к критическому, а также по долинам каньонов. При быстром перемещении твердожидкой компонентной смеси МГЭС возникают мутьевые и суспензионные потоки, приводящие к деструкции МГЭС на участках склоновых поверхностей и аккумуляции вещества в виде обширных конусов выноса, валообразных аккумулятивных тел у подножья склона. Наиболее обширные участки МГЭС конусов выноса приурочены к погребенным авандельтам палео-Дуная, палео-Днестра, Днепра, Каланчака и Дона.

Обрушения – перемещение участков МГЭС с последующим их скольжением по плоскости склона в сочетании со свободным перемещением в водной среде МАКЭС. Пластическая деформация массива МГЭС верхней части континентального склона сопровождается выдавливанием МГЭС нижележащих участков его подножья, изменением при этом рельефа границы «МГЭС – МАКЭС» в связи с образованием валов и бугров выпирания, в т. ч. в днищах подводных долин и депрессий. Этот вид деформаций характерен для района ЛПМ и верхних участков района Южнобережной зоны.

Оползневые процессы – особенно характерны для МГЭС прикрымского сектора черноморского шельфа Украины, где установлено широкое развитие активизированных тектонических структур в их основании. Наиболее подвержены этим процессам МГЭС в районе мысов Никитин и Плака, в районе к югу от пос. Рыбачье и ЛПМ. Отсутствие проявления оползневых процессов установлено только в МГЭС района шельфа, расположенного южнее г. Алушта.

Эрозионные и эрозионно-денудационные процессы в МГЭС черноморского шельфа Украины обусловлены действием комплекса факторов, среди которых большое значение имеют, в основном, стационарные и квазистационарные потоки водной среды смежной МАКЭС и суспензионные потоки. Они, в частности, вызывают нарушения границы «МГЭС – МАКЭС», проявляющиеся в появлении линейных эрозионных врезов и каньонов, обычно в верхней и средней частях континентального склона. Кроме того, результатом действия указанных потоков являются аккумулятивные формы у его подножья. Формирование и функционирование МГЭС наиболее крупных ветвящихся и протяженных каньонов, так или иначе связанных с подводным продолжением палео-

долин рек Дуная, Днестра, Днепра, Каланчака, Донузлава, Качи и Альмы. В области континентального склона в районе орогенных структур основания Горного Крыма, развиты МГЭС каньонного вида. Обычно они узко локализованы, имеют прямолинейные заложения и переуглубленные врезы оснований.

Морские экспедиционные исследования последних лет подтверждают [29], что в пространстве погребенной палеодолинной геоэкосистемы Каланчака (пра-Днепра) содержатся палеогеоэкологические подсистемы ее русловых и прирусловых фаций, а сама геоэкосистема палеодолины имеет несомненную генетическую связь с геоэкосистемой суши. Анализ фактического материала экспедиций позволил сделать вывод о взаимосвязи жидкого компонента рассматриваемой геоэкосистемы с жидким компонентом геоэкосистемы континента, т. е. подземными водами суши. Постоянная субмаринная разгрузка по палеоруслам рек не могла не оказать влияния на компонентный состав геологической среды участков МГЭС вершины континентального склона. Гидродинамическая активность водной среды МАКЭС на этих участках и значительное содержание жидкого компонента в МГЭС смежных участков обусловили высокую активность процессов эрозии на границе мягкой пластичной илисто-песчаной МГЭС со смежной МАКЭС на участках не только верхней и средней частей континентального склона, но и на многих участках его подножья. О масштабах развития этих процессов можно судить по огромной площади водораздельной поверхности каньона Каланчака, тальвег которого не только пересекает пространство МГЭС континентального склона, но и в виде ущельеобразной долины огибает пространство МГЭС его подножья, простираясь более, чем на 90 км с запада на восток. В развитии данного каньона важнейшую роль сыграли наложенные экзогенные, преимущественно гравитационные факторы и суспензионные потоки, развитые на границе «МГЭС–МАКЭС» и формирующие его морфоскульптуру. Всего в пределах геоэкосистемы континентального склона, примыкающей к геоэкосистеме черноморского шельфа Украины было выделено 25 обособленных подводных каньонов и палеодолин [30]. В их пределах сформировались и функционируют соответствующие виды МГЭС. Наибольшее распространение каньонный вид МГЭС получил в верхней части континентального склона. При этом преобладающее простирание геоэкосистем направлено по нормали к береговой линии, сохраняя при этом общее субмеридиональное направление, отклоняющееся к западу и востоку на $10–20^0$.

На рисунке (см. вклейку) показана схема районирования геоэкосистемы черноморского шельфа Украины и прилегающих к нему областей континентального склона. Краткая характеристика геоэкосистем различного ранга, выделенных в рассматриваемом регионе, приведена в таблице.

Характеристика МГЭС черноморского шельфа Украины

Уровень МГЭС. Пространственная структура (морфоструктурные районы)	Протяженность границы участка с континентальной геоэкосистемой (ПГ), км.Геологическая среда континентальной геоэкосистемы и ее структура, (мощность). Типоморфные литокомпоненты геологической среды (ТЛ) МГЭС	Процессуальная структура (ведущие геоэкологические процессы) МГЭС	Преобладающий тип МГЭС по особенностям процессуальной структуры	Основной поставщик компонентов геологической среды МГЭС.Гидрологические условия МАКЭС
Мегаэкосистема: Средиземноморский бассейн Макрогеоэкосистема: макрогеоэкосистемаЧерного моря. Впадина с четко выраженными зонами шельфа, континентального склона и ложа глубоководной впадины. Широтная зональность определяется наличием зон: активного волнового воздействия в прибрежной зоне шельфа, пассивного волнового воздействия (неволновые гравитационные процессы) в зоне шельфа, неволновой аккумуляции с развитием оползневых процессов и суспензионных потоков континентального склона, неволновой аккумуляции глубоководного ложа Черноморской впадины Мезогеоэкосистема: мезогеоэкологическая область шельфа Черного моря Микрогеоэкосистемы: микрогеоэкологические районы СЗ шельфа, Крымского шельфа, Керченско-Таманского шельфа **1. Микрогеоэкологический район СЗ шельфа Черного моря (устье реки Дунай – Тарханкутский полуостров)** Обширный шельф – затопленная субаэральная поверхность водоразделов и системы палеорек Днепра, Днестра и Дуная. Неотектонический режим – преимущественные опускания				
Микрогеоэкологический участок 1. 1. Придунайская МГЭС *Килийское гирло – начало Сасыкской пересыпи, область Дунайского палеоканьона*	ПГ – 70 км Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне толщей четвертичных аллювиальных, лиманных и морских отложений	Аккумуляция, литодинамические процессы Аккумуляция, подводная эрозия Речная аккумуляция и эрозия	Эрозионно-аккумулятивный Аккумулятивно-эрозионный с пролювиальными шлейфами и конусами выноса Аккумулятивный	р. Дунай. ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС (течения, волны) Безнапорный водоносный горизонт в аллювиально-дельтовых отложениях
Район Нижне-Дунайской дельтовой равнины Район Змеиноостровского выступа СЗ шельфа	**1 класс** (скальный) ***Группа***: осадочно-сцементированная. *Тип:* обломочный **ТЛ** – конгломераты, брекчии, песчаники о. Змеиный			
Район эрозионно-аккумулятивных полого наклонных палеодолин Дунай-Днестровского междуречья Западно-Черноморской морфоструктурной об-	**2 класс** (нескальный) ***Группа***: осадочная несцементированная.*Типы*: обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, сме-			

ласти погребенных палеодельт континентального склона	шанный, искусственный **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов; насыпные в зонах дампинга и намывные компоненты			
Микрогеоэкологический участок 1.2. Сасыкско-Днестровская МГЭС *Лиман Сасык – устье Днестра – каньон палео-Днестра*	ПГ – 100 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне: а) пересыпи – песчано-ракушечными морскими отложениями (1–8 м); б) уступы плато – четвертичными лессовидными суглинками (до 23 м), неогеновой песчано-галечниковой толщей (до 40 м)	Аккумуляция с образованием кос, пересыпей Аккумуляция, подводная эрозия Абразия со скоростью разрушения клифа порядка 2–4 м/год	Эрозионно-аккумулятивный Аккумулятивно-эрозионный Абразионный и абразионно-обвальный (рыхлые породы)	р. Когильник, р. Сарата, р. Хаджидер, р. Алкалия, оз. Сасык, оз. Шаганы, оз. Бурнас, оз. Алибей Направленные потоки водной среды МАКЭС ЖК МГЭС и МАКЭС Водоносные горизонты в неоген-четвертичных отложениях Безнапорные горизонты в лиманно-морских, лиманных и морских отложениях
Район Западно-Причерноморской плосковолнистой лессовой равнины. Районы: Змеиноостровского выступа СЗ шельфа; центральной части СЗ шельфа Район эрозионно-аккумулятивных полого-наклонных палеодолин Дунай-Днестровского междуречья континентального склона	**2 класс** (нескальный) ***Группа:*** осадочная несцементированная. *Типы*: обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственный. **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов; насыпные в зонах дампинга и намывные компоненты			
Микрогеоэкологический участок 1.3. Днестровско-Березанская МГЭС *р. Днестр-Березанский лиман – палео-Днестровский и палео-Каланчакский каньоны*	ПГ – 110 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне толщей лессовидных суглинков, неогеновой песчано-глинистой толщей, известняками понта и мэотическими глинами	Аккумуляция с образованием подводных валов, песчаных банок	Эрозионно-аккумулятивный с развитием аномальных газовыделяющих структур	р. Днестр, р. Березань ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС

Продолжение таблицы

Уровень МГЭС. Пространственная структура (морфоструктурные районы)	Протяженность границы участка с континентальной геоэкосистемой (ПГ), км.Геологическая среда континентальной геоэкосистемы и ее структура, (мощность). Типоморфные литокомпоненты геологической среды (ТЛ) МГЭС	Процессуальная структура (ведущие геоэкологические процессы) МГЭС	Преобладающий тип МГЭС по особенностям процессуальной структуры	Основной поставщик компонентов геологической среды МГЭС.Гидрологические условия МАКЭС
Район Днестровско-Бугской слабоволнистой лессовой равнины и Днепровско-Бугской лессовой слаборасчлененной равнины Район Центральной части СЗ шельфа Район эрозионно-аккумулятивных полого наклонных палеодолин Дунай-Днестровского междуречья и аккумулятивно-эрозионного каньона палео-Днепра	**2 класс** (нескальный) ***Группа***: осадочная несцементированная. *Типы*: Обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственный. **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов; насыпные в зонах дампинга и намывные компоненты	Аккумуляция, подводная эрозия Абразия, сопровождающаяся обвалами и оползнями в уступе плато. Скорость разрушения клифа 0,2–2,0 м/год Оползни выдавливания на протяжении 90 км	Аккумулятивно-эрозионный. Абразионный и абразионно-оползневой	Водоносные горизонты в лессовидных суглинках, в песчаных линзах неогеновых глин, в понтических известняках
Микрогеоэкологический участок 1.4. Днепро–Бугско–Каркинитская МГЭС *Рр. Южный Буг, Днепр – с. Межводное – каньон палео-Каланчака* Районы Асканийско-Мелитопольской террасовой верхнеплиоценовой равнины и Нижнеднепровской дельтовой равнины	ПГ – 900 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне плиоцен-четвертичными глинистыми отложениями **2 класс** (нескальный) ***Группа:*** осадочная несцементированная *Типы*: обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый,	Мощные аккумулятивные морские процессы (косы, бары, подводные валы) Аккумуляция, подводная эрозия	Эрозионно-аккумулятивный с развитием газовыделяющих структур Аккумулятивно-эрозионный с развитием газо-выделяю-	р. Южный Буг, р. Днепр, Каланчак ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС Водоносные горизонты в лессовидных суглинках и отложениях погребенных днепров-

Район Центральной части СЗ шельфа Район аккумулятивно-эрозионных палеодолин палео-Буга, палео-Каланчака (пра-Днепра) и их каньонов на континентальном склоне **Подсистемы** 1.4.1. Южно-Бугская МГЭС 1.4.2. Днепровская МГЭС	смешанный, искусственный **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов; насыпные в зонах дампинга и намывные компоненты	Аккумулятивные участки, чередующиеся с размываемыми со скоростью 0,2–0,4 м/год	щих структур Аккумулятивный и абразионный	ских террас

2. Микрогеоэкологический район Крымского шельфа (Тарханкутский п-ов – Феодосийский залив). Узкий шельф геосинклинального типа. Контрастный неотектонический режим в зоне сопряжения суша – море: преимущественные опускания морской береговой зоны с дифференциацией по отдельным блокам и общее поднятие зоны суши

Микрогеоэкологический участок 2.1. **Тарханкутская МГЭС** *с. Межводное – с. Оленевка – Каркинитский залив – каньон палео-Каланчака* Район северной части Тарханкутского плато Район Каркинитского залива восточной части СЗ шельфа	ПГ— 45 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне средне- и верхнесарматскими известняками, нижнесарматскими глинами, щебенистыми суглинками четвертичного покрова (1–3 м) **2 класс** (нескальный) ***Группа:*** осадочная несцементированная *Типы*: обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, глинистый, смешанный **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; биогенный кальцит; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества	Абразия, аккумуляция Аккумуляция, подводная эрозия Абразия, сопровождающаяся на отдельных участках оползневыми процессами. Оползни выдавливания протяженностью до 60 км	Эрозионно-аккмулятивный Аккумулятивно-эрозионный Абразионный тип в слаборазмываемых породах Абразионно-оползневой	оз. Ярылгач, оз. Джарылгач ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС Водоносный горизонт в сарматских известняках, верховодка в покровных отложениях Горизонты в песчаных линзах неогеновых глин, четвертичного покрова и в оползневых накоплениях

Продолжение таблицы

Уровень МГЭС. Пространственная структура (морфоструктурные районы)	Протяженность границы участка с континентальной геоэкосистемой (ПГ), км.Геологическая среда континентальной геоэкосистемы и ее структура, (мощность). Типоморфные литокомпоненты геологической среды (ТЛ) МГЭС	Процессуальная структура (ведущие геоэкологические процессы) МГЭС	Преобладающий тип МГЭС по особенностям процессуальной структуры	Основной поставщик компонентов геологической среды МГЭС.Гидрологические условия МАКЭС
Микрогеоэкологический участок 2.2. Западно-Крымская МГЭС *с. Оленевка – оз. Кизил-Яр – Каламитский залив – Ломоносовский подводный массив* Район южной части Тарханкутского плато и аккумулятивно-эрозионной равнины Равнинного Крыма Район эрозионно-аккумулятивного и эрозионно-денудационного шельфа Район бронированного крутосклонного Ломоносовского подводного массива	ПГ – 126 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне средне- и верхнесарматскими известняками нижне-сарматсткими глинами, щебнистыми суглинками четвертичного покрова (1–3 м). **1 класс** (скальный) ***Группы***: магматогенная, метаморфогенная, осадочная сцементированная. *Типы*: интрузивный и эффузивный, контактово-метаморфизованный в районе Ломоносовского подводного массива; обломочный, биохимический; гидрогенный **ТЛ** – граниты, диориты, габбро, андезиты, базальты, порфирры, туфобрекчии, тектонические брекчии и др., туфиты, песчаники, аргиллиты, алевриты, меловые известняки южнее мыса Тарханкут, железомарганцевые конкреции Каламитского залива **2 класс** (нескальный) ***Группа:*** осадочная несцементированная *Типы:* обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственный **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; лито-	Аккумуляция Аккумуляция, подводные эрозионно-денудационные процессы Абразия, редкие оползни	Абразионный тип в слабо размываемых породах Аккумулятивно-эрозионный, структурно-денудационный Абразионно-оползневой	оз. Донузлав, оз. Сасык, р. Кизил-Яр ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС Водоносный горизонт в сарматских известняках, верховодка в покровных отложениях. Горизонты в песчаных линзах неогеновых глин, четвертичного покрова и в оползневых накоплениях.

	компоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов			
Микрогеоэкологический участок 2.3. Качинско-Севастопольская МГЭС *оз. Кызыл-Яр – Каламитский залив – мыс Константиновский – Ломоносовский подводный массив* Районы юго-западной аккумулятивной расчлененной равнины и Предгорий Крымских гор Район Западно-Крымской области шельфа Район бронированного крутосклонного ЛПМ	ПГ – 143 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне глинами плиоцена и четвертичными делювиальными отложениями (60–80 м) **1 класс** (скальный) ***Группы:*** магматогенная, метаморфогенная, осадочная сцементированная *Типы*: интрузивный и эффузивный, контактово-метаморфизованный в районе Ломоносовского подводного массива **ТЛ** – граниты, диориты, габбро, андезиты, базальты, порфирры, туфобрекчии, тектонические брекчии и др., туфиты, песчаники, аргиллиты, алевриты, меловые известняки южнее мыса Тарханкут, железомарганцевые конкреции Каламитского залива **2 класс** (нескальный) ***Группа***: осадочная несцементированная *Типы:* обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственный **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов	Аккумуляция, подводная эрозия Аккумуляция, подводные эрозионно-денудационные процессы Абразия на всем протяжении обвально-оползневые процессы в уступе плато Оползни выдавливания протяженностью 4,5 км	Аккумулятивно-эрозионный Аккумулятивно-эрозионный, структурно-денудационный Абразионный и абразионно-оползневой	р. Кизил-Яр, р. Булганак, р. Бельбек,р. Кача, р. Черная ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС Водоносный горизонт в сарматских известняках; верховодка в покровных отложениях Горизонты в песчаных линзах неогеновых глин, четвертичного покрова и в оползневых накоплениях

Продолжение таблицы

Уровень МГЭС. Пространственная структура (морфоструктурные районы)	Протяженность границы участка с континентальной геоэкосистемой (ПГ), км.Геологическая среда континентальной геоэкосистемы и ее структура, (мощность). Типоморфные литокомпоненты геологической среды (ТЛ) МГЭС	Процессуальная структура (ведущие геоэкологические процессы) МГЭС	Преобладающий тип МГЭС по особенностям процессуальной структуры	Основной поставщик компонентов геологической среды МГЭС.Гидрологические условия МАКЭС
Микрогеоэкологический участок 2.4. **Севастопольско-Балаклавская МГЭС** *мыс Константиновский – мыс Айя – Ломоносовский подводный массив* Район Главной гряды Крымских гор Район Крымско-Южнобережной части шельфа Район бронированного крутосклонного ЛПМ	ПГ – 34 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне сарматскими известняками, верхнеюрскими и меловыми известняками, конгломератами, изверженными породами Фиолентского массива **1 класс** (скальный) ***Группы:*** магматогенная, метаморфогенная, осадочная сцементированная, искусственная *Типы:* интрузивный и эффузивный, контактово-метаморфизованный в районе Ломоносовского палеовулканического и Фиолентского массивов; обломочный, биохимический, техногенный **ТЛ** – граниты, диориты, габбро, андезиты, базальты, порфирры, туфобрекчии, тектонические брекчии и др., туфиты, песчаники, аргиллиты, алевриты, известняки и конгломераты верхней юры, глины. Компонеты техногенных сооружений **2 класс** (нескальный) ***Группа***: осадочная несцементированная *Типы:*обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственный	Аккумуляция, подводная эрозия Аккумуляция, подводные эрозионно-денудационные процессы Абразия на всем протяжении Интенсивность процессов низкая	Аккумулятивно-эрозионный Аккумулятивно-эрозионный, структурно-денудационный Абразионный в устойчивых породах	р. Черная, р. Балаклава ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС Трещинно-карстовые воды

	ТЛ – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов			
Микрогеоэкологический участок 2.5. **Юго-западная МГЭС** *Мыс Айя – пос. Семидворье – Фороский выступ континентального склона* Район Южного склона главной гряды Крымских гор Район Крымско-Южнобережной области шельфа Район гравитационного крутосклонного Фороского выступа и структурно-денудационного и эрозионно-аккумулятивного крутосклонного Южнобережного сектора	ПГ – 100 км Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне флишевой формацией таврической серии и средней юры, рыхлым покровом щебнисто-глинистых пород плиоцена (массандровская свита) и четвертичными породами разного генезиса (от 5–15 до 50–80 м) **1 класс** (скальный) ***Группы:*** осадочная сцементированная, искусственная *Типы:* обломочный, биохимический, техногенный **ТЛ** – туфиты, песчаники, аргиллиты, алевриты, известняки и конгломераты мергели, глины верхней юры и мела, компоненты техногенных систем **2 класс** (нескальный) ***Группа***: осадочная несцементированная *Типы:* обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственный **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов	Аккумуляция, подводные эрозионно-денудационные процессы Эрозионно-аккумулятивные и денудационные Сейсмичность 8 баллов, абразия на всем протяжении, эрозия и связанные с ними оползневые процессы Структурные оползни в покровных отложениях	Аккумулятивно-эрозионный Эрозионный, структурно-денудационный Абразионно-бухтовый и абразионно-оползневой в условиях горного рельефа	Временные водотоки ЮБК, Учан-Су, Уч-Кош, Авунда, Улу-Узень, Джур-Джур ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС Потенциально селеопасные временные водотоки Трещинно-карстовые воды верхней юры и водоносные горизонты в рыхлом четвертичном покрове

Окончание таблицы

Уровень МГЭС. Пространственная структура (морфоструктурные районы)	Протяженность границы участка с континентальной геоэкосистемой (ПГ), км.Геологическая среда континентальной геоэкосистемы и ее структура, (мощность). Типоморфные литокомпоненты геологической среды (ТЛ) МГЭС	Процессуальная структура (ведущие геоэкологические процессы) МГЭС	Преобладающий тип МГЭС по особенностям процессуальной структуры	Основной поставщик компонентов геологической среды МГЭС.Гидрологические условия МАКЭС
Микрогеоэкологический участок 2.6. **Юго-Восточная МГЭС** *пос. Семидворье – пос. Приморский* Район Южного склона главной гряды Крымских гор. Район Крымско-Южнобережной области шельфа Районы структурно-денудационного и эрозионно-аккумулятивного крутосклонного Южнобережного сектора, эрозионного и аккумулятивного полого-наклонного Феодосийского сектора	ПГ – 100 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне флишевой формацией таврической серии и средней юры,рыхлым покровом щебнисто-глинистых пород плиоцена (массандровская свита) и четвертичными образованиями разного генезиса (от 5–15 до 50–80 м) **1 класс** (скальный) ***Группы:*** осадочная сцементированная, искусственная *Типы:* обломочный, биохимический, техногенный **ТЛ** – песчаники, аргиллиты, алевриты, известняки, мергели, глины, компоненты техногенных систем **2 класс** (нескальный) ***Группа:*** осадочная несцементированная *Типы:* обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственны **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты, переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов	Аккумуляция, подводные эрозионно-денудационные процессы Эрозионно-аккумулятивные, денудационные Сейсмичность 7–8 баллов, абразия, эрозия, оползневые процессы, сели. Свыше 400 оползневых участков площадью 19 км ^{2} Структурные оползни в покровных отложениях Свыше 130 оползневых участков площадью 11 км^2	Аккумулятивно-эрозионный Эрозионный, эрозионно-аккумулятивный, структурно-денудационный Абразионный, абразионно-оползневой	Потенциально селеопасные водотоки Алака, Орта-Узень, Пешан-Узень, Арпат, Шелен, Ворон ЖК МГЭС и МАКЭС Направленные потоки водной среды МАКЭС Слабые водоносные горизонты в покровных отложениях

3. Мезогеоэкологический район Керченско-Таманского шельфа. Расширенный шельф геосинклинального типа. Область преимущественных опусканий в зоне накопления мощных аккумулятивных толщ конусов выноса палеорек Северного Приазовья				
Микрогеоэкологический участок 3.1. **Прикерченская МГЭС** *пос. Приморский – мыс Такиль – область погребенных палеодельт и конусов выноса, Кубанского палеоканьона Таманского сектора* Район Керченской грядово-холмистой расчлененной равнины с развитием инверсионных и грязевулканических форм Район Керченско-Таманского шельфа Район Керченско-Таманской области погребенных палеодельт: эрозионного, эрозионно-аккумулятивного и пологого Прикерченского сектора; погребенных палеодельт подводного продолжения пра-Дона и палеорек Северного Приазовья; Кубанского палеоканьона Таманского сектора	ПГ – 154 Геологическая среда континентальной ГЭС представлена в береговой зоне комплексом пород неогена, четвертичным покровом лессовидных суглинков и оползневыми отложениями. **Класс** (нескальный) ***Группа:*** осадочная несцементированная *Типы:* обломочно-терригенный, турбидитовый, биогенно-известковый, кремнистый, глинистый, смешанный, искусственный **ТЛ** – минералы, обломки горных пород; литокомпоненты переотложенные мутьевыми потоками; биогенный кальцит и кремний; глинистые и тонкодисперсные обломочные минералы, аморфные вещества; смеси компонентов	Аккумуляция, подводные эрозионные процессы Эрозионно-аккумулятивные Абразия, сопровождающаяся обвально-оползневыми процессами. Оползни выдавливания. Около 100 оползневых участков площадью 4 км^2	Аккумулятивно-эрозионный Аккумулятивный, эрозионно-аккумулятивный, аккумулятивно-эрозионный, подводно-оползневой с проявлениями аномального газовыделения Абразионный и абразионно-оползневой	Исключительная бедность подземными водами Направленные потоки водной среды МАКЭС Материал ЖК МГЭС и МАКЭС

ЛИТЕРАТУРА

1. *Одум Ю.* Экология: В 2-х т. М.: Мир,1986. – Т. I. – 328 с.
2. *Федоров В.Д., Гильманов Т.Г.* Экология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 464 с.
3. *Емельянов В.А.* Основы морской геоэкологии. Теоретико-методологические аспекты – К.: Наук. думка, 2003. – 238 с.
4. *Мороз С.А., Оноприенко В.И.* Методология геологической науки. – К.: Вища шк., 1985. – 198 с.
5. *Петров К.М.* Подводные ландшафты. – М.: Наука, 1989. – 126 с.
6. *Ємельянов В.О., Митропольський О.Ю.* Морська геоекосистема та її місце в організації біосфери // Вісн. АН УРСР. – 1990. – № 3. – С. 40–45.
7. *Николс Г., Пригожин И.* Познание сложного. Введение. – М.: Мир, 1990. – 344 с.
8. *Хованский А.Д., Митропольский А.Ю., Усенко В.П.* Геохимия ландшафтов Гвинейского сектора Атлантики. – К., 1990. – 58 с. (Препр./ ИГН АН УССР; 90–33).
9. *Лисицын А.П.* Осадкообразование в океанах. – М.: Наука, 1974. – 520с.
10. *Физико-механические* свойства донных осадков Черного моря / *А.Е. Бабинец, В.А. Емельянов, А.Ю. Митропольский и др.* – К.: Наук. думка, 1981. – 204 с.
11. *Емельянов В.А.* Роль некоторых бентосных организмов в геоэкосистеме шельфа западной части Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1990. – № 5. – С. 13–16.
12. *Безбородов А.А., Емельянов В.А.* Приливная зона шельфа как геохимический барьер // Докл. АН УССР. Сер.Б. – 1985. – № 9. – С.3–6.
13. *Емельянов Е.М.* Барьерные зоны в океане: осадко- и рудообразование, геоэкология. – Калининград: Янтар. сказ, 1998. – 416 с.
14. *Емельянов В.А.* О некоторых функциональных зонах геоэкосистемы мангров Гвинеи (Западная Африка) // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1991. – № 9. – С. 126–129.
15. *Чичкин В.Н., Мединец В.И.* Результаты исследований макрозообентоса Черного моря в 1991 – 1993 годах // Исследование экосистемы Черного моря. – Одесса: Ирэн-Полиграф, – 1994. – С. 128–133.
16. *Лосовская Г.В., Рытикова Л.Ю.* Состояние донных сообществ северо-западной части Черного моря в условиях изменения речного стока // Экология моря. – К.: Наук. думка, 1981. – Вып. 26. – С. 37–43.
17. *Заїка В.Е.* Зміна кількості видів макрозообентосу в Чорному морі на глибинах 50–200 м // Доп. АН УРСР. Сер. Б. – 1990. – № 11. – С. 54–70.
18. *Дунай* – основной источник эвтрофирования Черного моря / Ю.П. Зайцев, Г.П. Гаркавая и др. // Гидробиол. журн. – 1989. – 25. – Вып. 4. – С. 21–105.
19. *Фащук Д.Я.* Сероводородная зона северо-западного шельфа Черного моря: Природа, причины возникновения, механизмы динамики // Водные ресурсы. – 1995. – 22. – № 5. – С. 568–584.
20. *Киселева М.И.* Бентос рыхлых грунтов Черного моря. – К.: Наук. думка, 1981 – 166 с.
21. *Калугина-Гутник А.А.* Фитобентос Черного моря. – К.: Наук. думка, 1975. – 247 с.
22. *Миронов О.Г.* Бактериальная флора донных осадков // Основы биологической продуктивности Черного моря. – К.: Наук. думка, 1979. – С. 199–208.
23. *Газовые* факелы Черного моря. Е.Ф. Шнюков, А.А. Пасынков, С.А. Клещенко и др. – К. Изд-во ПП «Гнозіс» – 1999. – 133 с.
24. *Gomoiu M.-T.* Problemes concernant l'eutrophication marine // Cercetari marine. Recherches marines, I.R.C.M. – Constanta, 1985. – № 18. – P. 59–95.
25. *Сорокин Ю.И.* Черное море. – М.: Наука, 1982. – 216 с.
26. *Сапожников В.В.* Экологическое состояние прибрежной зоны Черного моря // Экология прибрежной зоны Черного моря. – ВНИРО, 1992. – С. 4–17.

27. *Практическая* экология морских регионов. Черное море. / Э.Н. Альтман , А.А. Безбородов , К.И. Богатова и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 252 с.
28. *Шостак Т.А.* Влияние процессов седиментогенеза на создание современной экологической ситуации в Джарылгачском и Тендровском заливах: Автореф. дис… канд. геол.-минерал. наук. – Одесса, 1992. – 24 с.
29. *Шнюков Е.Ф., Иноземцев Ю.И., Маслаков Н.А.* Геологическая история развития речной сети на северо-западном шельфе Черного моря // Геология и полезные ископаемые Черного моря. – К.: Карбон ЛТД, 1999. – С. 180–184.
30. *Мельник Е.В.* Эволюция обстановок осадконакопления в верхнем плейстоцене-голоцене на северо-западном шельфе Черного моря // Геология и полезные ископаемые Черного моря. – К.: Карбон ЛТД, 1999. – С. 215–217.

Заключение

По черноморскому шельфу Украины и особенно по его северо-западной области к настоящему времени накоплен большой массив данных различных исследований, позволяющих судить о его геоэкологических особенностях. Уже сегодня специалисты могут оценить уровни накопления, некоторые закономерности сезонной и межгодовой динамики, пространственного распространения, условия и механизмы миграции и аккумуляции ряда известных загрязнителей. Вместе с тем, многие геоэкологические характеристики МГЭС большинства районов черноморского шельфа Украины оцениваются по результатам исследований, проведенных на ограниченном количестве наблюдательных станций с последующим широким использованием интерполяции и экстраполяции.

Необходимость исследования и оценки процессов геоэкогенеза на черноморском шельфе Украины с точки зрения теоретико-методологических позиций морской геоэкологии, обусловлена отсутствием детальной системной информации об источниках поступления загрязнителей, трансформации и распределении загрязняющих веществ в пространстве МГЭС.

Крупнейшим поставщиком загрязнителей в экосистему Черного моря является аквальная экосистема Дуная. Процессы, управляющие функционированием МГЭС, и особенно экотонов, сформировавшихся на границах «дунайская акваэкосистема – МАКЭС» и «МАКЭС – МГЭС», сложны и динамичны. Результаты проведенных исследований позволяют сделать определенные выводы о геоэкологических особенностях черноморского шельфа Украины.

Установлено, что геоэкогенез в Черном море и, в частности, в акватории черноморского шельфа Украины протекает на фоне естественных геологических (тектонических, литологических, геохимических), геоморфологических, гидрофизических, гидрологических, гидрохимических и биологических процессов-факторов, при взаимодействии и взаимовлиянии которых формируется геоэкологическая, в широком понимании, структура черноморского шельфа Украины, структура его МГЭС.

Основным геологическим критерием районирования МГЭС донных отложений черноморского шельфа Украины является структура ее твердого компонента, которая определяет процессы удержания и захоронения загрязняющих веществ. Пространство МГЭС черноморского шельфа Украины распространяется от ее границы с МАКЭС в толщу донных отложений на глубину, которая колеблется от 0,1 до 3,5 м. Твердый компонент МГЭС представлен смесью илов, песков, раковинного и детрито-раковинного материала, соотношение содержания которых в различных частях пространства МГЭС черноморского шельфа Украины может существенно отличаться. Наиболее благоприятными для аккумуляции загрязняющих веществ являются иловые участки МГЭС, особенно характерные для района авандельты Дуная. Твердый компонент МГЭС на этих участках имеет мощный сорбционный потенциал, так как представлен, в основном, пелитовой фракцией и органическим веществом.

Характеристики и параметры МГЭС во многом определяются геоморфологическими особенностями границы «МГЭС – МАКЭС» т.е. – дна, а также структурой и динамикой смежной МАКЭС. Большая часть исследованной МГЭС отделена от МАЭС слоем пространства МАКЭС толщиной 5–30 м, который является наиболее динамичным. Это обусловливает приоритетное значение процессов водно-гравитационной сортировки твердого компонента МАКЭС при его транспортировке в МГЭС. Результатом является формирование песчаных МГЭС на приподнятых участках рельефа границы «МГЭС – МАКЭС» и алевро-пелитовых и пелито-алевритовых – в понижениях рельефа указанной границы.

Определенное влияние на формирование МГЭС шельфа Черного моря имеет уровень границы «МАКЭС – МАЭС». С 20-х годов минувшего столетия отмечается тенденция к повышению этого уровня со скоростью 3 мм/год, т. е. в последние десятилетия он поднялся на величину около 20 см. Выяснено, что уровень границы «МАКЭС – МАЭС» колеблется с периодом 5–7 сут и амплитудой 10–15 см на фоне более длительного колебания. В связи со стойким подъемом уровня моря происходит постоянное перемещение границы «МГЭС – МАКЭС – МАЭС – континентальная геоэкосистема – МГЭС», которая в пространственном отношении соответствует понятию «береговая линия», в сторону континента. Изменение положения вышеуказанной границы сопровождается поступлением в МАКЭС и МГЭС большого количества материала, продуктов разрушения берега. Этот материал становится компонентом вдольбереговых потоков водной среды и вещества МАКЭС, активно участвует в образовании аккумулятивных участков МГЭС.

На многие процессы геоэкогенеза большое влияние оказывает гидрологический режим МАКЭС, который во многом определяет ее гидрохимические особенности. Концентрации в водной среде МАКЭС растворенного кислорода и биогенных элементов определяют ее окислительно-восстановительнный потенциал и состояние ЖК не только в МАКЭС, но и в МГЭС. Кроме того, содержания указанных элементов являются индикаторами степени влияния на МАКЭС и МГЭС речных акваэкосистем – основного поставщика материала для формирования их компонентной структуры. Исследование гидрохимического режима МАКЭС СЗ

области черноморского шельфа Украины показало, что он определяется, в основном, тремя разными по происхождению потоками: дунайским с запада, днепровско-днестровским с севера и черноморским течением с юга. Наиболее весомое влияние на гидрохимические показатели имеет сток Дуная.

МГЭС черноморского шельфа Украины в летне-осенний период, особенно в придунайском районе, характеризуется неблагоприятным кислородным режимом. В слое водной среды на границе «МГЭС – МАКЭС» формируются зоны гипоксии (концентрация кислорода < 2,7 мл/дм^3 или < 30 % насыщения) общей площадью более 1200 км^2. Дефицит кислорода обусловлен, прежде всего, протекающими на границе «МГЭС – МАКЭС» процессами окисления, а также ограничением вертикального переноса в МАКЭС, обусловленного соответствующей стратификацией ее водной среды, что при значительном эвтрофировании приводит к возникновению зон гипоксии, в т. ч. в МГЭС, на ее границе с зонами гипоксии МАКЭС.

В зимне-весенний период кислородный режим водной среды практически всей МАКЭС и ее границы с МГЭС черноморского шельфа Украины благоприятный (содержимое кислорода не менее 6,6 мл/дм^3, не ниже 89 % насыщения). С распределением кислорода хорошо коррелирует распределение ph, величина которого колеблется на границе «МАКЭС – МГЭС» от 7,8 до 8,3.

Распределение и сезонная динамика концентраций в пространстве МАКЭС элементов главного биогенного цикла, являющиеся индикаторами трофности водной среды МАКЭС и жидкого компонента МГЭС, определяются, в первую очередь, влиянием речных акваэкосистем. На границе «МАКЭС – МГЭС», обычно характеризующейся высоким содержанием кремнекислоты, во многом обусловливаемой распределением взвеси отмерших диатомовых водорослей, концентрации кремнекислоты колеблются от 25 до 15 – 10 мкМ/дм^3 осенью и от 35 до 10 мкМ/дм^3 – зимой.

Концентрации фосфатов в водной среде на границе «МАКЭС – МГЭС» в осенний сезон колеблются от нуля до 0,97 мкМ/дм^3, при максимальных содержаниях, достигающих 3,0–3,6 мкМ/дм^3 в водной среде МАКЭС приустьевых районов. Для сравнения в водной среде МАКЭС, не подверженной влиянию потоков водной среды из речных аквальных экосистем, концентрации PO_4 варьируют обычно в интервале 0,2–0,6 мкМ/дм^3.

В МГЭС фосфаты аккумулируются активно, о чем, в частности, свидетельствует то, что содержание PO_4 в них на один – два порядка выше, чем в МАКЭС. Таким образом, в МГЭС формируется резерв биогенных элементов.

Содержание нитратов в водной среде МАКЭС вблизи ее границы с МГЭС в приустьевых районах СЗ шельфа Черного моря (5–6 мкМ/дм^3) обычно в 2–3 раза выше, чем в вблизи соответствующей границы в районах МАКЭС открытого моря (1,5–2,0 мкМ/дм^3).

Содержания нитритов в водной среде МАКЭС вблизи ее границы с МГЭС зимой возрастют по мере удаления от устья Дуная. Интенсивность деструкционных процессов, которые определяются концентрацией нитритов, приблизительно одинакова во всем пространстве МАКЭС черноморского шельфа Украины.

Концентрация биогенных элементов в водной среде МАКЭС имеет определяющее влияние на условия функционирования организмов ее ЖК и ЖК МГЭС, которые контролируют биогенную аккумуляцию карбоната кальция, кремнекислоты и органического вещества в МГЭС, формируя таким образом определенный тип геоэкогенеза.

Планктонные организмы ЖК МАКЭС и организмы-фильтраторы зообентоса, входящего в ЖК МГЭС, представляют собой мощный биогеохимический барьер, который абсорбирует и выводит из МАКЭС в МГЭС растворимые и взвешенные соединения, или наоборот, превращает в растворимые взвешенные формы элементов. Показатели развития ЖК МАКЭС и МГЭС являются индикаторами благополучия экологической системы морского бассейна. Данные, полученные в результате проведенных исследований показали, что бактериопродукции, фито- и зоопланктона в МАКЭС и зообентоса в МГЭС являются хорошими индикаторами многолетних тенденций развития ее состояния.

ЖК МГЭС черноморского шельфа Украины обеднен по сравнению с началом и серединой прошлого столетия, как в качественном, так и в количественном плане. В частности, наблюдается отсутствие в ЖК МГЭС долгоживущих видов зообентоса, значительные изменения видового состава и биомассы фитобентоса, прежде всего в придунайском районе СЗ шельфа.

Особенности тектоники и стратиграфии дна черноморского шельфа, структуры геологической среды МГЭС, гидрологии, гидрохимии и динамики водной среды МАКЭС, количественные и качественные характеристики ЖК МГЭС и МАКЭС, различные антропогенные воздействия – все это определяет геоэкологическую ситуацию, характерную для черноморского шельфа Украины. Кроме того, вышеизложенное позволяет выделить в пределах рассматриваемого шельфа ряд геоэкологических провинций, которые состоят из элементарных геоэкологических районов и геоэкосистем более мелких рангов, т. е. провести его геоэкологическое районирование.

Таким образом, доминирующими факторами, определяющими особенности геоэкогенеза на черноморском шельфе Украины являются:

взаимодействие речных аквальных экосистем (дунайской, днепровско-бугской, днестровской и др.), МАКЭС и МГЭС шельфа;

поступление в МАКЭС шельфа значительных объемов твердых и растворимых минеральных и органических веществ, в т. ч. антропогенных;

сложная взаимосвязь процессуальных подсистем МАЭС, МАКЭС и МГЭС шельфа, особенно активных в его прибрежной зоне;

устойчивая сезонная стратификация водной среды МАКЭС шельфа;

наличие гидрофронтальных зон в пространстве МАКЭС шельфа и ее плотностная неоднородность;

своеобразный количественный и качественный составы и неоднородное пространственное распределение ЖК МГЭС и МАКЭС шельфа.

Основным фактором, который влияет на геоэкогенетические процессы, является качественная и количественная деформация геохимических потоков веществ, вызванная в т. ч. значительным антропогенным воздействием, т. е.:

поступлением с потоками водной среды из речных акваэкосистем в МАКЭС и МГЭС загрязняющих веществ – ксенобиотиков, радиоактивных изотопов, детергентов, отсутствующих в природе или присутствующих в ней в очень ограниченных количествах;

загрязнением МАКЭС и МГЭС шельфа поступающими из береговых источников и в результате эксплуатации средств судоходства нефтяными углеводородами, фенолами, тяжелыми металлами и токсичными элементами;

возрастанием объемов биогенных элементов, поступающих в МГЭС и МАКЭС шельфа.

Выполнен анализ содержания техногенных и природно-техногенных загрязняющих веществ в МАКЭС и МГЭС СЗ области черноморского шельфа Украины в разные сезоны, определено отношение их концентраций к действующим стандартам, исследованы закономерности их пространственно-временного распределения. Показано, что особенности дифференциации тяжелых металлов и токсичных элементов определяются наличием комплексного экотона «речная акваэкосистема – МАКЭС – МГЭС», пространственно локализованного в авандельте Дуная. Статистические параметры распределения элементов (по валовому содержанию) в МГЭС шельфа и в геоэкотоне авандельты Дуная существенным образом, отличаются. Концентрации большинства элементов в иловом геоэкотоне авандельты Дуная превышают их содержание в МГЭС прилегающей части черноморского шельфа в 1,6 – 9 раз, As и Be – в 20 раз, Nb – в геоэкотоне авандельты содержится в 5 раз меньше, Cd – в 1,3 раза, La содержится в равных количествах. Концентрации, близкие к кларковым в геоэкотоне авандельты формируют Cu, Zn, Fe, Si, V, La, Y, P, Al, Co, Mo, Ge, Se, Li; в шельфовой части геоэкотона – As, Pb, Cr, Mg, La, Ag, Bi. Выше кларкового уровня содержания в МГЭС Hg, Cd, Ca, Yb, B, а в геоэкотоне авандельты также Ag, Mg, Cr, Pb, As; Sn, Bi. Ниже кларкового содержания в МГЭС Ni, Mn, Ba, Na, Ti, Zr, Ga, Be, Nb. Кроме перечисленных в шельфовой части геоэкотона концентрации ниже кларковых характерны для Cu, Zn, Fe, Si, V, Y, P, Al, Be, Co, Mo, Sn, Nb, Ge, Sc, Li.

Локализация элементов в границах авандельты и шельфовой зоны существенным образом отличается. Авандельта представляет собой контрастную единую аномалию с выдержанными геохимическими полями. Структура геохимического поля шельфовой зоны значительно более сложная.

Пространственная дифференциация ассоциативных групп элементов в МГЭС определяется комплексом литодинамических, гидро- и геохимических, а также техногенных факторов. В границах шельфовой геохимической зоны относительно местного фона выделяются области полиэлементных аномалий, фоновых концентраций, относительно низких концентраций.

Большинство элементов ассоциировано с глинистой фракцией твердого компонента МГЭС. Исключения составляют Pb, Ba, La, Ag. Наиболее тесную связь ($r > 0,95$) с глинистой фракцией твердого компонента проявляют Fe, V, Ti, Sn, Nb, Yb, Bi, Ge, Sc и Li. С тяжелой фракцией твердого вещества МГЭС связаны Cr, Ti, Sn, Nb, Zr, Yb, Bi, Ge, Li ($r > 0,70$). Большинство этих элементов входят в состав тяжелых минералов пелитовой фракции, или находятся в них

как изоморфная примесь. С содержанием гидроокислов железа имеют положительную корреляцию (r >0,60) содержания Cu, Co, Zn, Mg, Be, которые сорбируются и осаждаются при коагуляции FeOH.

Сильная связь наблюдается между содержанием в МГЭС изученных элементов и органических коллоидов. Наиболее тесную связь (r >0,90) с содержанием органических коллоидов проявляют Cu, Co, Zn, Sc. Несколько ослабленные связи (0,80> r >0,90) с содержанием органических коллоидов наблюдается у Fe, Ni, V, Ti, Sn, Mg, Be, Ga, Yb, Bi, Ge, Li. Стронций является единственным элементом, проявляющим достоверную отрицательную корреляцию с органическим веществом (r = –0,84).

Содержания микроэлементов в тканях мидий в осенний и зимний периоды значительно отличаются. В частности, после глубокой осенней гипоксии в организмах-фильтраторах ЖК МГЭС возростают концентрации, в раз: Cd – 2,5; Pb – 1,2; Cu – 2; As – 2,7 и Zn – 1,6; содержание Hg уменьшается в 1,5 раза.

Оценены экологические аспекты локализации токсичных элементов. Показано, что в осенний период концентрации тяжелых металлов в водной среде МАКЭС не превышают ПДК для морских вод. В зимний период выявлены концентрации, которые значительно превышают допустимые. Проведено районирование МГЭС по степени загрязнения тяжелыми металлами и токсичными элементами по суммарному показателю концентрации (СПК): МГЭС в пределах авандельты – СПК – 347, МГЭС в Жебриянской бухте – СПК – 381, МГЭС шельфа юго-восточнее авандельты – СПК – 45, МГЭС шельфа в районе, расположенном между о. Змеиный и авандельтой – СПК – 19, МГЭС шельфа непосредственно в районе о. Змеиный – СПК – 13.

Радионуклиды являются идеальными трассерами современных процессов морского геоэкогенеза. Основным источником поступления радионуклидов техногенного происхождения в МГЭС шельфа СЗ области Черного моря является акваэкосистема Дуная. Диапазон концентраций ^{137}Cs в МГЭС придунайского района шельфа > 0,5–190 Бк/кг сухой массы ее твердого компонента. Участки максимального загрязнения МГЭС на ее границе с МАКЭС радиоцезием (80–190 Бк/кг) расположены в районе авандельты Дуная у изобаты 20 м, где реализуется механизм геохимического барьера. С отдалением от дельты содержание ^{137}Cs в МГЭС уменьшается в 3–10 раз и на уровне изобаты 25 м составляет 15–20 Бк/кг. Минимальные значения ^{137}Cs <0,5–3,2 Бк/кг характерны для МГЭС в крайней южной и восточной частях СЗ шельфа. Концентрации ^{137}Cs 1,5 – 3,4 Бк/кг можно считать фоновыми (региональный техногенный фон) для МГЭС СЗ шельфа.

В вертикальном разрезе пространства МГЭС концентрации дифференцированы по слоям. Максимальные и минимальные концентрации ^{137}Cs не приурочены к определенному горизонту разреза МГЭС, а контролируются геохимическими свойствами конкретных вещественно-генетических слоев МГЭС. В слое МГЭС 0 – 30 см статистически выделяются два, реже три пика максимумов, которые совпадают с периодами наибольшего поступления радионуклидов. Флуктуации концентраций контролируются вещественно-генетически-

ми особенностями МГЭС, сорбционными свойствами ее твердого компонента, а в границах одной вещественно-генетической единицы – степенью обогащения геологической среды МГЭС коллоидными сорбентами.

Концентрации ^{90}Sr в МГЭС придунайского шельфа соответствуют значениям 0,2–3,92 Бк/кг сухой массы ее твердого компонента. Радиостронций фиксируется только на границе МГЭС и МАКЭС. Картина плоскостного распределения радиоактивного стронция в пространстве МГЭС отличается от распределения радиоцезия. Это обусловлено, прежде всего, отличиями в геохимических свойствах данных радиоизотопов. По мере отдаления от дельты Дуная содержание ^{90}Sr в МГЭС возрастает. Будучи физико-химическим аналогом кальция, стронций не осаждается в границах геохимического барьера река – море, а принимает участие в процессах осадочного карбонатонакопления. В МГЭС, твердый компонент которых представлен ракушечниками и ракушечниково-детритовыми песками, концентрация ^{90}Sr на порядок выше его концентрации в терригенных илистых МГЭС. Отмечается положительная корреляция содержания в МГЭС Sr стабильного и ^{90}Sr.

Отличающиеся своей токсичностью вещества техногенного и техногенно-природного происхождения также широко распространены как загрязнители в границах черноморского шельфа Украины, особенно в МГЭС придунайского района. В этом районе в МГЭС в осенний период характерна 100% встречаемость ДДТ, ДДЭ, ДДД, Ар-1254, Ар-1260, алдрина. Линдан и ГХБ выявлены соответственно в 58 и 43% проб. В зимний период в данном районе уменьшается встречаемость ГХБ, ДДД, ДДТ, Ар-1260 и гептахлора, в МГЭС авандельты остается 100 % -е нахождение всех ХОС, за исключением гептахлора. Наиболее высокие концентрации в МГЭС Ар-1254, Ар-1260 и группы ДДТ, что на порядок меньше линдана, алдрина и ГХБ. Аналогично распределены концентрации хлорорганики в тканях мидий. Встречаемость ХОС в мидиях 100% в ПХБ, ДДД и ДДЭ, для остальных она неравномерна (0 – 50%). Характерно увеличение концентраций ХОС в МГЭС в зимний период относительно осеннего (в авандельте в 3–4 раза), что связано, вероятно, с замедлением химических и микробиологических процессов деструкции. Зимой значительно уменьшилось содержание ХОС в мягких тканях мидий, что стало откликом на уменьшение загрязненности МАКЭС. Загрязнение ХОС МГЭС тесно связано с наличием в составе их твердого компонента сорбционного комплекса.

Картина плоскостного развития загрязнения есть отображением сорбционной анизотропии твердого компонента и органического вещества МГЭС. Установлена корреляционная связь ХОС с органикой ($r = 0,61 – 0,86$), меньше – с глинистой фракцией ($r = 0,29 – 0,77$). Положительную корреляционную связь ($r = 0,67$) имеет группа ДДТ с гидроокислами железа.

Наиболее высокие концентрации ХОС в иловых МГЭС в районе авандельты Дуная, в мкг/кг: ДДТ – 23 осенью и 119 зимой, ДДД соответственно 31 и 69, ДДЭ – 8 и 22, Ар-1260 соответственно 10 и 27,3, Ар-1254 соответственно 15 и 62. Интенсивность загрязнения МГЭС возле устьев рек пропорциональна объему их стока. В мягких тканях мидий максимальное содержание

ДДТ – 90 мкг/кг и ДДЭ – 50 мкг/кг характерно для организмов мористой части придунайского шельфа. В северной части наиболее высокое содержание, в мкг/кг: ДДД – 150, Ар-1260 – 300, Ар-1254 – 400. Концентрация ДДД в тканях мидий в 4 раза выше, чем в водной среде МАКЭС на границе с МГЭС, в 3 раза выше ПХБ и ДДЭ, в 2 раза – ДДТ и ГХБ. Для ДДД и группы Ар-1254 зафиксирована зависимость – рост их концентраций в геологической среде МГЭС ведет к уменьшению их концентраций в мидиях. Максимально загрязнены моллюски указанными ХОС в тех частях, где геологическая среда МГЭС содержит минимальные их концентрации, а в районе наиболее загрязненной геологической среды МГЭС авандельты содержание в мидиях ДДД и Ар-1254 наиболее низкое.

В геологической среде МГЭС концентрация нефтяных углеводородов (∑НУВ) колеблется осенью от 0,2 до 2,5 мг/кг, при среднем 0,8 мг/кг. Максимальная концентрация (2,5 мг/кг) обнаружена в МГЭС непосредственно в районе о. Змеиный. Содержание ∑НУВ 2,0 мг/кг характерно для иловых МГЭС центральной и южной частей авандельты Дуная. В северной части авандельты и Жебриянской бухте геологическая среда МГЭС содержит 1,5–1,7 мг/кг ∑НУВ.

За пределами авандельты, от изобаты 25 м до о. Змеиный ∑НУВ в геологической среде МГЭС составляет 0,4 мг/кг, а далее на восток от острова, уменьшается до 0,2–0,3 мг/кг. Последние значения характеризуют фоновую составляющую. В зимний период концентрации ∑НУВ в геологической среде МГЭС превышают в 30 – 80 раз значения, зафиксированные осенью. В целом, сильное загрязнение геологической среды МГЭС развито на периферии СЗ шельфа, особенно в придунайском районе, в то время как центральная часть остается относительно «природно-чистой». Такое плоскостное распределение ∑НУВ в МГЭС связанно с динамикой водной среды МАКЭС.

Ароматические углеводы максимально сосредоточены в иловых МГЭС авандельты, где они в десятки раз превышают концентрации в геологической среде МГЭС открытой части моря. Содержание трансформированных нефтепродуктов (тяжелая фракция ∑НУВ) в геологической среде МГЭС колеблется от 0,7 до 1,7% от ∑НУВ, что свидетельствует о низкой активности минерализации углеводородов в зимний период и доминировании их аккумуляции.

В мягких тканях мидий концентрации ∑НУВ составляют 17,3–150,2 мг/кг сухой массы. Высокие концентрации 50–150 мг/кг типичны для мидий придельтовых районов МГЭС, минимальные – 17–19 мг/кг, характерны для мидий северных районов МГЭС. В компонентном составе присутствует широкий спектр алифатических и ароматических соединений. В открытом море в составе ароматических соединений преобладают фенантрен, нафталин, 1-метилнафталин, 1-этилнафталин, флуорантен, хризен, пирен, флуорен, антрацен, 2-метилфенантрен. В мидиях МГЭС придельтового района в ароматической составной доминируют высокомолекулярные углеводные, неразделенные при анализе. Алифатические соединения во всех мидиях представлены единым гомологичным рядом от С-14 до С-34 с относительным преобладанием

С-17, С-21, пристана, С-26, С-28, С-30. С приближением к Дунайской дельте в мидиях возрастают концентрации ∑НУВ и увеличивается количество в них ароматической составной в среднем от 25 до 56 %, или от 5 до 100 мг/кг.

Проявлениям синергизма токсичности нефтепродуктов и ХОС оказывают содействие детергенты. Концентрации СПАВ в водной среде МАКЭС по максимальным и средним значениям не превышают, или равны ПДК, колебаясь в диапазоне от 0,01 до 0,23 мг/дм^3. В МГЭС содержатся детергенты в концентрациях, которые в 5–8 раз превышают их содержание в МАКЭС. Содержание СПАВ в илистой геологической среде МГЭС в районе авандельты Дуная характеризуется значениями 0,95 мг/кг, в мористой части – 0,68 мг/кг.

Концентрации фенолов в МАКЭС могут достигать значительных размеров, а наблюдаемые нами – во всех случаях превышали ПДК, причем на взморье до 100 раз. Отметим, что в фотическом слое МАКЭС фенолов обычно больше, чем в слое на границе с МГЭС, из которого они в нее активно депонируются. Содержание фенолов в МГЭС колеблется от 1,3 до 4,1 мг/кг, что в 2 раза превышает их содержание в МАКЭС. За счет значительного сорбционного потенциала наиболее загрязненными оказались иловые МГЭС авандельты.

Подытоживая характеристики уровней загрязнения и дифференциации элементов и соединений, отметим, что наиболее полно охарактеризованы так называемые рутинные концентрации полютантов в придунайской МГЭС СЗ области черноморского шельфа Украины. Дунай известен залповыми выбросами этих веществ в море в результате аварий на предприятиях, расположенных в его бассейне. В этом случае загрязнения стремительно возрастают. Своевременное фиксирование загрязнений, и их последствий, с расчетом причиненных убытков, должно стать частью национальной природоохранной политики в исключительной экономической зоне Украины в Черном море.

В связи с тем, что экологические вопросы становятся все более весомыми в международных отношениях и в национальной политике каждого государства, Украине необходимо проводить геоэкологический мониторинг черноморского шельфа, особенно в его придунайском районе. Результаты такого мониторинга позволят обеспечить, с одной стороны, информационную поддержку национальной политики Украины в Черноморском регионе, а с другой – предсказуемость происходящих процессов и своевременность принятия решений по предотвращению нежелательных эколого-экономических последствий этих процессов.

В условиях антропогенного воздействия, а также взаимодействия и взаимозависимости биотических и абиотических факторов геоэкогенеза, получение достоверной информации о состоянии и тенденциях развития МГЭС черноморского шельфа Украины является актуальной задачей. Решение этой задачи имеет не только фундаментальное, но и прикладное значение. Особенно оно необходимо для разработки научного обоснования управленческих решений при планировании вовлечения в активную хозяйственную деятельность наиболее напряженных с экологической точки зрения районов МГЭС и МАКЭС черноморского шельфа, в первую очередь, при освоении ресурсов прибрежных областей акватории Черного моря, различных областей его во-

досборного бассейна и приморских территорий. Важное значение геоэкологическая информация имеет и для разработки национальной и международной политики в области охраны окружающей среды, развития фундаментальных системных морских геоэкологических исследований, повышения уровня знаний в области взаимоотношения общества и природы.

Рассматривая вопрос защиты МГЭС черноморского шельфа Украины от нарушающих факторов, среди которых определяющее место занимает антропогенное воздействие, следует подчеркнуть следующее. В стратегическом плане разрешение указанной проблемы обусловлено достижением цели экологической чистоты промышленных предприятий, экологически грамотного ведения сельского хозяйства, использования экологически безопасного транспорта, осуществления постоянного контроля потенциальных источников загрязнений в пределах водосборного бассейна северной части Черного моря, т. е. на побережье и вдоль рек водосборов, разгружающихся в МАКЭС и МГЭС черноморского шельфа Украины. Безусловно, эта цель не может быть достигнута в полной мере. Однако она является ориентиром, к которому необходимо стремиться, делая уже сегодня то, что возможно, не дожидаясь кардинальной перестройки промышленных и сельскохозяйственных технологий, более высокого уровня человеческого сознания и общественных отношений.

Тактика защиты МГЭС черноморского шельфа Украины от возможных загрязнений должна, как представляется, включать ряд этапов. *На первом этапе* должны осуществляться идентификация, локализация и контроль источников загрязнения, а также их нейтрализация с учетом санитарных и экологических требований международного законодательства, а именно: стерилизация и детоксикация с применением ультрафиолетового излучения и перекиси водорода; утилизация биогенных элементов в биологических прудах; очистка локальных стоков от наиболее токсичных загрязнителей и взвешенных частиц, приведение при необходимости температуры сбросов в соответствие с природной либо в специальных прудах-охладителях (жидкие сбросы), либо на специально оборудованных площадках (если отходы твердые); приведение оказываемых на МГЭС динамических и статических нагрузок в соответствие с ее физико-механическими свойствами. *Второй этап* предполагает выбор способа и места захоронения (сброса) максимально очищенных отходов, а также разработку новых технологий переработки отходов в полезные вещества, материалы или продукты. В качестве мест захоронения могут быть выбраны, в частности, определенные участки черноморского шельфа Украины. Однако при этом должны учитываться рельеф и свойства границы «МГЭС – МАКЭС – антропогенный объект», динамика аквальной среды МАКЭС и другие факторы, определяющие массоперенос загрязняющих веществ, нормы допустимой нагрузки на пограничные участки МАКЭС и МГЭС в зоне эффективного перемешивания загрязняющих потоков с водной средой МАКЭС и способность последней к самоочищению. *На третьем этапе* проводится искусственное повышение самоочищающейся способности граничащих МАКЭС и МГЭС путем альгомелиорации и зоомелиорации, а также комплексной биомелиорации. Био-

мелиорация включает в себя: а) создание плантаций моллюсков для биологической очистки водных масс МАКЭС; б) создание плантаций макрофитов для снижения уровня эвтрофикации, улучшения физико-механических свойств МГЭС и защиты ее от разрушающего воздействия подвижных водных масс МАКЭС; в) проведение очистки сточных потоков с использованием искусственных зарослей высшей водной растительности и др. Следует подчеркнуть, что разработанные к настоящему времени технологии биомелиорации могут быть использованы, в основном, при защите МАКЭС и лишь предполагают синхронное улучшение ситуации в МГЭС. Однако, как показывает опыт, мнение о всегда положительном влиянии биомелиорации на МГЭС, по крайней мере, в ряде случаев довольно спорно. Вероятно, это обусловлено весьма существенными отличиями функциональных и процессуальных подсистем МГЭС и МАКЭС. Например, МГЭС обычно выполняет аккумулятивную функцию, в то время как МАКЭС – транзитную. Поэтому то, что в решении вопроса биомелиорации для МАКЭС является бесспорным, для МГЭС либо неприемлемо, либо нуждается в специальном изучении и существенной корректировке. Примером негативного для МГЭС результата функционирования объектов, которые с успехом используются при биомелиорации МАКЭС, может служить быстрое заиливание, увеличение ОВ и изменение окислительно-восстановительных условий на участках МГЭС, примыкающих к местам расположения, например, мидийных плантаций. Такие ситуации описаны в литературе и наблюдались нами, в частности, в районе Карадага (Южный берег Крыма). Поэтому в будущем при использовании биомелиорации должно учитываться ее возможное влияние на структуру МГЭС, что, безусловно, невозможно сделать без постановки специальных геоэкологических исследований. В любом случае, только комплексное использование методов биомелиорации, при условии значительного ограничения попадания загрязнителей в морскую акваторию, может обеспечить необходимые условия для восстановления и сохранения МГЭС черноморского шельфа Украины.

Следует отметить, что в настоящее время существуют весьма приближенные способы оценки допустимой нагрузки на МГЭС с учетом опыта нормирования допустимой нагрузки на МАКЭС в зоне выброса очищенных сточных вод. Вероятно, пришло время постановки целевых исследований, направленных на определение показателей, характеризующих массоперенос и трансформацию различных видов загрязняющих веществ в каждом конкретном типе и виде МГЭС черноморского шельфа Украины, которые планируются для вовлечения в активную хозяйственную деятельность.

Анализ мирового опыта показывает, что никакие научно обоснованные действия по защите экологических систем, не будут эффективны без осуществления определенного комплекса соответствующих административно-правовых и экономических мер. Это справедливо и по отношению к МГЭС черноморского шельфа Украины. Подчеркнем, что функционирующая система защиты и сохранения МГЭС черноморского шельфа Украины не может не включать следующие первоочередные меры:

1. Введение в Украине единых национальных стандартов качества МАКЭС и МГЭС по ряду признаков (ПДК компонентов, физико-механические свойства, pH, *Eh* и др. с привязкой к вещественно-генетическим типам).

2. Законодательное поручение каждой прибрежной государственной административной единице проведение паспортизации, сохранения и восстановления (в случае их антропогенного нарушения) качества прибрежной части морской экосистемы и ее подсистем, включая МГЭС, на основе данных системных мониторинговых исследований, проводимых специализированными организациями, по заказу этих администраций.

3. Принятие в Украине национальной программы ликвидации источников сверхнормативных выбросов вредных компонентов в экосистему Черного моря и ее подсистемы, в частности МГЭС. Указанная программа должна быть направлена на разработку и внедрение новых малоотходных промышленных и сельскохозяйственных технологий, и предназначена, прежде всего, для производителей и пользователей коммунальных, производственных и сельскохозяйственных предприятий, определенных типов транспортных средств (в частности судов) и т.д., которые являются или могут являться источниками загрязнений.

4. Законодательное обеспечение:

а) возможности, при необходимости, введения местными властями более жестких ограничивающих нормативов воздействия на морские экосистемы, чем соответствующие нормативы, принятые на более высоких административных уровнях;

б) необходимости обеспечения и развития транспортной, промышленной, сельскохозяйственной, рекреационной, коммунальной инфраструктур причерноморских районов территории Украины соответствующими мероприятиями по защите экосистем черноморского шельфа Украины, в том числе его МГЭС.

5. Обеспечение соответствующими государственными органами повышения эффективности и регулярного квалифицированного контроля за воплощением в жизнь вышеуказанных мер.

Касаясь вопроса необходимого финансирования указанных мер, отметим, что основные расходы на их претворение в жизнь должны нести владельцы источников загрязнения, а также налогоплательщики. Отметим, что вопросы экономического и административно-правового регулирования системы мер по охране и восстановлению экосистем Черного моря, а также их подсистем, включая МГЭС черноморского шельфа Украины, в настоящее время проработаны недостаточно и требуют скорейшего решения. При этом следует учитывать, что система перечисленных мер может быть эффективной только при условии выполнения всех ее пунктов-подсистем. Причем невыполнение любого из этих пунктов вызовет многократное снижение действенности всей системы защитных мер, а при определенных условиях – явится причиной ее полной неэффективности.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МОРСКИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

ГЛАВА 1. Морская геоэкология и некоторые теоретические вопросы изучения донных отложений черноморского шельфа Украины как геоэкологических систем 13

ГЛАВА 2. Методика и базовый материал исследований МГЭС черноморского шельфа Украины 30

ГЛАВА 3. Расположение пунктов наблюдательной сети и обоснование изучаемых характеристик МГЭС и МАКЭС черноморского шельфа Украины 40

ГЛАВА 4. Морские геоэкологические экспедиционные исследования 49

ГЛАВА 5. Лабораторные исследования, методы математического моделирования и использования ГИС-технологий 56

ГЛАВА 6. Аэрокосмические исследования 61

ЛИТЕРАТУРА 66

РАЗДЕЛ 2. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОЭКОСИСТЕМ
ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

ГЛАВА 1. Современные представления о структурном положении и тектоническом строении Черного моря 69

ГЛАВА 2. Стратиграфия региона исследований 79

ГЛАВА 3. Геоморфологические особенности региона исследований 89

ГЛАВА 4. Аквальная система черноморского шельфа Украины и ее влияние на МГЭС 97

ЛИТЕРАТУРА 131

РАЗДЕЛ 3. ЗАГРЯЗНЕНИЯ МГЭС
И МАКЭС ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

ГЛАВА 1. Тяжелые металлы и токсичные элементы в компонентах МГЭС и МАКЭС шельфа Украины 139

ГЛАВА 2. Загрязнение МАКЭС и МГЭС шельфа Украины органическими и органо-минеральными соединениями 179

ГЛАВА 3. Нефтяные углеводороды 202

ГЛАВА 4. Синтетические поверхностно-активные вещества и фенолы в компонентах МГЭС и МАКЭС 212

ГЛАВА 5. Радиоактивное загрязнение МГЭС Черноморского шельфа Украины 215

ГЛАВА 6. Аномальные газовые выделения как фактор загрязнения геоэкосистемы Черного моря 224

ЛИТЕРАТУРА 228

РАЗДЕЛ **4**. ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И РАЙОНИРОВАНИЕ ГЕОЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА УКРАИНЫ

ГЛАВА 1. Методологические подходы к выделению, дифференциации и районированию геоэкосистемы черноморского шельфа Украины и МГЭС донных отложений 235

ГЛАВА 2. Живой компонент как индикатор современного состояния МГЭС черноморского шельфа Украины 251

ГЛАВА 3. Геоэкологическое районирование черноморского шельфа Украины 263

ЛИТЕРАТУРА 280

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 282

Наукове видання

Авторський колектив:

Ємельянов Володимир Олександрович, **Митропольський** Олексій Юрійович,
Насєдкін Євген Ігорович, **Пасинков** Анатолій Андрійович,
Степаняк Юрій Деонизійович, **Шнюкова** Катерина Євгенівна

ГЕОЕКОЛОГІЯ ЧОРНОМОРСЬКОГО ШЕЛЬФУ УКРАЇНИ

Російською мовою

Редактор *В.А. Юдіна*
Дизайн обкладинки *І.-К.М. Андріянова*
Технічний редактор *Т.М. Шендерович*
Комп'ютерна верстка *С.В. Кубарєв*

Видавничий дім «Академперіодика» НАН України
01004, Київ-4, вул. Терещенківська, 4
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи серії ДК №544 від 27.07. 2001 р.

Підписано до друку 08.11.2004. Формат 70 × 100/16.
Папір офсетний. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 25,03. Обл.-вид. арк. 24,50.
Наклад 500 прим. Зам. № 1234

Друкарня видавничого дому «Академперіодика»
01004, Київ-4, вул.Терещенківська,4