

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РОССИИ

**А. М. Ермолаев, В. В. Николаев,  
А. З. Поваров**

Научно-исследовательский центр  
по проблемам экологической  
безопасности

Госкомэкологии России  
г. Москва, проспект Мира, ВВЦ,  
а/я 19, п-н "Охрана природы"  
E-mail: [ecosaf@com2com.ru](mailto:ecosaf@com2com.ru)

Понятие "мониторинг" довольно широко вошло в нашу жизнь и потому имеет неоднозначную трактовку. Краткое определение данного понятия таково: "систематические наблюдения, оценка и прогноз за каким-либо явлением, объектом, средой и т.д.". При рассмотрении вопросов загрязнения окружающей природной среды все чаще применяется термин "экологический мониторинг".

Согласно [1] "экологический мониторинг - наблюдение и контроль за состоянием окружающей природной среды (атмосферный воздух, водоемы, Мировой океан, почвы) и изменением ее в процессе хозяйственного развития, системы сбора, обобщения, оценки и передачи информации о реальных или ожидаемых вредных последствиях".

Как видно из данного определения, при экологическом мониторинге будут востребованы принципы организации, технические пути построения систем контроля за окружающей при-

родной средой и процедуры получения информации о ее состоянии.

В 70-х годах в нашей стране на базе органов Госкомгидромета и других министерств и ведомств была организована Общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения внешней среды (ОГСНК).

Эта служба фактически и сейчас осуществляет наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы, водных объектов, почвы, биоты, обеспечивает заинтересованные организации систематической и экстренной информацией о состоянии природных сред.

Структурно ОГСНК состоит из систем наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, водных объектов, почвы, фонового мониторинга и наблюдения за радиационной обстановкой.

Концепция дальнейшего совершенствования системы национального мониторинга определена Постановлением Правительства Российской Федерации [2] "О создании Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ)".

Суть данной концепции заключается в интегрировании возможностей ведомственных систем мониторинга при общем руководстве и координации работ со стороны Госкомэкологии России.

Данным постановлением определены функции каждого ведомства в создании и функционировании ЕГСЭМ.

Федеральный орган	Функции
1	2
Минприроды России	координация деятельности министерств и ведомств, предприятий и организаций в области мониторинга окружающей природной среды
	организация мониторинга источников антропогенного воздействия на окружающую природную среду и зон их прямого воздействия
	организация мониторинга животного и растительного мира, мониторинга наземной фауны и флоры (кроме лесов)

1	2
Минприроды России	<p>обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем</p> <p>ведение с заинтересованными министерствами и ведомствами банков данных об окружающей природной среде, природных ресурсах и их использовании</p>
Росгидромет	<p>организация мониторинга состояния атмосферы, поверхностных вод суши, морской среды, почв, околоземного космического пространства, комплексного фоновое и космического мониторинга состояния окружающей среды</p> <p>координация развития и функционирования ведомственных подсистем фоновое мониторинга загрязнения окружающей среды</p> <p>ведение государственного фонда данных о загрязнении окружающей природной Среде</p>
Роскомзем	мониторинг земель
Роскомнедра	мониторинг недр (геологической среды), включая мониторинг подземных вод и опасных экзогенных и эндогенных геологических процессов
Роскомрыболовство	мониторинг рыб, других водных животных и растений
Рослесхоз	мониторинг лесов
Роскомвод	мониторинг водной среды водохозяйственных систем и сооружений в местах водозабора и сброса сточных вод
Роскартография	осуществление топографо-геодезического и картографического обеспечения ЕГСМ, включая создание цифровых, электронных карт и геоинформационных систем
Госгортехнадзор России	<p>координация развития и функционирования подсистем мониторинга геологической среды, связанных с использованием ресурсов недр на предприятиях добывающих отраслей промышленности</p> <p>мониторинг обеспечения промышленной безопасности (за исключением объектов Минобороны России и Минатома России)</p>
Госкомсанэпиднадзор России	мониторинг воздействия факторов среды обитания на состояние здоровья населения

1	2
Минобороны России	мониторинг окружающей природной среды и источников воздействия на нее на военных объектах обеспечение ЕГСЭМ средствами и системами военной техники двойного применения
Госкомсеввер России	участие в развитии и функционировании ЕГСЭМ в районах Арктики и Крайнего Севера
Комитет по проведению подводных работ особого назначения при Совете Министров - Правительстве Российской Федерации	участие в разработке, развертывании и развитии ЕГСЭМ в части мониторинга подводных источников воздействия повышенной опасности в морях и внутренних акваториях на окружающую среду
Минсельхоз России	обеспечение создания и функционирования отраслевой системы мониторинга окружающей природной Среды
Минатом России Минсельхоз России Минтопэнерго России Роскоммап Государственный комитет Российской Федерации по оборонным отраслям промышленности Роскомхимнефтепром Роскомметаллургия	координация деятельности подведомственных предприятий и организаций отрасли (независимо от форм собственности) в области мониторинга источников антропогенного воздействия на окружающую природную среду

*Примечание* : Названия учреждений приведены на момент подписания Постановления.

В соответствии с постановлением о создании ЕГСЭМ Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации утверждено "Положение о Единой государственной системе экологического мониторинга" [3].

Положением определены :

- цели, задачи и функции ЕГСЭМ;
- структура ЕГСЭМ;
- функционирование ЕГСЭМ;
- правовой статус информации в ЕГСЭМ.

Единая государственная система экологического мониторинга создается на основе территориально-ведомственного принципа построения, предусматривающего максимальное использование возможностей существующих межведомственных и ведомственных систем мониторинга - в том числе мониторинга состояния окружающей природной среды, источников антропогенного воздействия, природных ресурсов, экосистем.

В ЕГСЭМ выделяются базовые и специализированные подсистемы мониторинга и подсистемы обеспечения функционирования системы в целом.

В состав ЕГСЭМ входят следующие базовые подсистемы :

- атмосферы;
- водных объектов: поверхностных вод суши, морской среды, водной среды водохозяйственных систем и сооружений в местах водозабора подземных вод;
- недр (геологической среды), опасных экзогенных и эндогенных геологических процессов;
- земель, почвенного покрова;
- наземной флоры и фауны (кроме лесов);
- лесов;
- рыб, других водных животных и растений;
- фонового состояния окружающей природной среды;
- источников антропогенного воздействия.

Специализированные подсистемы функционируют на базе служб наблюдений федеральных органов исполнительной власти и осуществляют мониторинг :

- промышленной безопасности;
- околоземного космического пространства;
- военных объектов.

В соответствии с "Положением..." ЕГСЭМ функционирует на 4 основных уровнях: федеральном, региональном (бассейновом), субъектов Российской Федерации (далее именуется - территориальный уровень), локальном. Общее руководство ЕГСЭМ, включая создание нормативно-правовой базы, а также организацию информационного обмена

между участниками ЕГСЭМ, осуществляет Госкомэкологии России.

Территориальные системы экологического мониторинга организуются в субъектах Российской Федерации и являются основными системообразующими элементами (территориальные подсистемы ЕГСЭМ).

В настоящее время практически во всех субъектах Российской Федерации создаются территориальные подсистемы ЕГСЭМ.

Согласно Положению о ЕГСЭМ (п. 17) для оценки антропогенного воздействия объектов хозяйственной деятельности организуются системы производственного экологического мониторинга (ПЭМ) источников воздействия на окружающую природную среду и зон их непосредственного влияния (импактный мониторинг), осуществляющие функционирование в рамках соответствующих базовых и специализированных подсистем ЕГСЭМ.

Решение о необходимости создания на предприятии указанных систем мониторинга принимается органами, выдающими лицензии на природопользование и проведение мониторинга состояния окружающей среды. Системы мониторинга источника воздействий создаются за счет средств субъекта хозяйственной деятельности, который и обеспечивает регламент их функционирование.

Но тут же заметим, что в основной массе промышленных предприятий нет систем ПЭМ. Нет и согласованных нормативных документов, подтверждающих обоснованность создания таких систем для предприятий различных форм собственности. Скорее следует констатировать тот факт, что не экологические требования, а требования обеспечения без-

опасности функционирования опасных производств требуют необходимости создания систем контроля техногенного воздействия на окружающую природную среду (ОПС).

Например, аналогичные системы контроля техногенного воздействия на окружающую среду, обусловленные скорее опасностью производственных технологий, чем задачами управления ОПС, внедрены на опасных производствах, таких как атомные электростанции, объекты производства и хранения химического оружия, шахтные системы контроля за содержанием метана и т. д. В основной же массе на большинстве промышленных предприятий средства экологического контроля представлены химико-аналитическими лабораториями, газоанализаторами, а также приборами контроля технологических производственных процессов.

Наиболее продвинуты вопросы создания систем ПЭМ находятся в газовой промышленности.

Рассмотрим кратко принципы и технические пути создания систем ПЭМ на примере мониторинга объектов РАО "Газпром".

В целях оздоровления окружающей среды в зонах влияния объектов газовой промышленности в соответствии с постановлением Правления РАО "Газпром" разработана комплексная научно-техническая программа "Создание и внедрение системы производственно-экологического мониторинга объектов РАО "Газпром", которая учитывает требования Единой государственной системы экологического мониторинга.

В связи с особой спецификой функционирования и пространственным размещением промышленных объек-

тов Газпрома создание системы ПЭМ отрасли отработывается на базе пилотных проектов для различных климатических условий.

В качестве одного из пилотных проектов проводится разработка и ввод в эксплуатацию системы ПЭМ ДП "Астраханьгазпром".

Система предназначена для решения задач оперативного наблюдения и контроля уровня загрязнений объектов природной среды на территории санитарно-защитной и жилой зоны, оценки экологической обстановки и оказания информационной поддержки при принятии решений.

Система ПЭМ состоит из :

- информационно-измерительной подсистемы;
- подсистемы связи и телекоммуникаций;
- центра обработки информации;
- пользовательских терминалов.

Для промышленных объектов Газпрома, расположенных в северных регионах страны, на предприятии "Ямбурггаздобыча" проводится отработка пилотного проекта производственного экологического мониторинга "Север".

Комплекс технических средств ПЭМ "Север" включает в себя :

- автоматические системы контроля выбросов загрязняющих веществ компрессорных станций;
- автоматические посты экологического контроля состояния атмосферного воздуха в жилых и промышленных зонах;
- мобильные экологические лаборатории "ТРЭКОЛ" для определения загрязнений почвы, воды (снега), воздуха в различных

районах Ямбургского газоконденсатного месторождения;

- системы мониторинга качества воды на водозаборе и выпусках очистных сооружений;
- аппаратуру инженерно-геологического мониторинга для контроля грунтов под технологическим оборудованием в районах многолетней мерзлоты;
- комплект лабораторно-аналитического оборудования для детального анализа проб воздуха, воды (снега), почвы.

Комплекс объединяется единой системой передачи данных с использованием системы спутниковой связи "Ямал".

Разрабатываемые пилотные проекты производственного экологического мониторинга на предприятиях Газпрома в соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации [2] и "Положения о ЕГСЭМ" [3] на стадиях проектирования, разработки и внедрения проходят согласование с природоохранными органами Госкомэкологии России, что позволяет рассматривать системы ПЭМ как подсистемы ЕГСЭМ нижнего уровня иерархии.

Важным достоинством разрабатываемой системы ПЭМ на объектах Газпро-

ма является высокая степень автоматизации измерения, сбора, обработки и передачи экологической информации практически в реальном масштабе времени, что позволяет рассматривать данные системы как средства двойного назначения, т. е. как средства управления качеством окружающей среды, так и управления технологическими процессами на предприятии.

Предполагается по результатам опытной эксплуатации систем ПЭМ "Газпрома" разработать типовое Положение о системе производственного экологического мониторинга.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана окружающей природной среды, постатейный комментарий к закону России, Москва, 1993 г.

2. Постановление Правительства "О создании Единой государственной системы экологического мониторинга" № 1229 от 24.11.93 г.

3. "Положение о Единой государственной системе экологического контроля" утверждено приказом Министра охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ № 49 от 9.02.95 г.

**КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ  
КОМПЛЕКСНЫХ  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗОНЕ  
СОПРЯЖЕНИЯ СУШИ И МОРЯ  
АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО  
БАССЕЙНА**

**Н.А. Пантелеев, В.В. Питеряков,  
Ю.П. Ломанов**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Природная среда планеты Земля - в жестоком нарастающем экологическом кризисе [1]. Свидетельством тому - усиливающиеся глобальные изменения земной системы: повышение уровня Мирового океана вследствие "парникового эффекта", способное в обозримом будущем вызвать затопление обширных прибрежных территорий с городами, поселками, плодородными землями, сокращение озонового слоя в стратосфере, защищающего все живое на Земле от жесткого солнечного излучения, загрязнение океанов и морей, приводящее к деградации морских экосистем, снижению биопродуктивности, исчезновению биологических видов, упадку рыбного промысла. Во многих регионах, преимущественно в прибрежных зонах окраинных и внутренних морей, загрязнения представляют реальную угрозу здоровью населения.

Бесспорной первопричиной кризиса является рост населения Земли [1]. За последние 100 лет на два порядка возросло потребление человечеством первичной биологической продукции, природных ресурсов, что привело к истощению естественных систем жизнеобеспечения. В этот же период в результате промышленной революции, плавно перешедшей в научно-техническую, растет энергопотребление, в том числе за счет ископаемого топлива. Как следствие, резко возросли выбросы в атмосферу углекислого газа -

главного "парникового" газа, оксидов азота и серы. В результате к нашему времени значительно изменился газовый состав атмосферы на глобальном уровне, содержание парниковых газов в атмосфере удвоилось.

Во второй половине двадцатого столетия произошли огромные изменения технологий производств, развивается ядерная энергетика, активизируются испытания ядерного оружия, неизбежно возникают аварийные ситуации на мирных атомных станциях.

В итоге многогранных проявлений научно-технического прогресса в последние 40-50 лет возник новый мощный химико-физический механизм воздействия человека на окружающую среду. Изменения в земной системе являются логическим итогом постоянного давления человека на природу в продолжение всего развития цивилизаций. В последние полвека человечество переступило важнейший экологический рубеж: предел ёмкости биосферы и порог устойчивости природной системы [2]. Биосфера теряет способность к самовосстановлению, биота и окружающая среда теряют устойчивость.

Мировому океану отводится ключевая роль в природных процессах саморегуляции планетарной системы и сохранения биосферы. Океан вносит существенный вклад в продуктивность биосферы, сам поставляя преобладающую её долю. Океан активно участвует в глобальных геохимических круговоротах биогенных элементов, обуславливающих продуктивность биосферы.

Мировой океан - накопитель и главный потребитель биогенных компонентов азота и фосфора, поступающих с береговыми стоками. Включаясь в биологические циклы в прибрежной акватории, нитраты и фосфаты обуславливают вспышку биопродуктивности вод и наращивание биомассы фитопланктона (явление эвтрофикации). Жизненный цикл биоты завершается её гибелью. Разложение органического веще-

ства биоты сопровождается выделением углекислого газа, который поступает в атмосферу.

Биогеохимические преобразования вещества в море или океане неразрывно связаны с физическими процессами. Формирование органической массы происходит в верхнем слое вод, в зоне фотосинтеза. Отмирающая биота погружается в глубинные слои и разлагается на неорганические компоненты в зоне окисления. Растворенные неорганические соединения биогенов выносятся из глубинных слоев в зону фотосинтеза за счет турбулентной диффузии и других механизмов вертикального обмена. Под действием тех же процессов кислород поступает от поверхности в ниже лежащие слои, обеспечивая окисление органики

Загрязнения от береговых источников, прежде всего, попадают в прибрежную зону океана, непосредственно сопряженную с суши, и концентрируются здесь в толще воды, на поверхности и в донных отложениях. До 90% всей массы антропогенного и терригенного осадочного материала остается в прибрежной зоне. Здесь происходит интенсивная флокуляция растворенной органики, лавинная седиментация, активная минерализация, что существенно влияет на состояние морской среды.

Таким образом, сравнительно узкая, мелководная прибрежная зона морей и океанов принимает на себя всю массу токсических и потенциально вредных веществ, оказывающих разрушительное воздействие в первую очередь на прибрежные экосистемы. Распространение загрязнений по всей акватории водоема происходит затем под действием локальных течений, вихревых движений, общей циркуляции, диффузии, горизонтального и вертикального турбулентного обмена и других механизмов перемешивания вод различных масштабов.

Прибрежные зоны морей и океанов характеризуются наибольшей биологи-

ческой продуктивностью. Здесь сосредоточены основные пищевые ресурсы океана, рыбный промысел в прибрежных зонах обеспечивает продуктами моря одну треть населения Земли. Занимая всего около 8 % поверхности Мирового океана и менее 0,5 % его объема, эти зоны производят одну пятую биологической продукции океана, содержат 80 % всей массы органического вещества, свыше 50 % глобальных запасов углерода в океане.

В силу демографического притяжения вдоль побережий океанов и морей самая высокая плотность населения: более половины человечества обитает в зоне сопряжения суши и моря (ЗССМ) - в пределах 60 - километровой береговой полосы.

Здесь сконцентрированы промышленные, сельскохозяйственные и промысловые комплексы, порты и терминалы. Две трети крупнейших городов мира с населением свыше 2 млн человек расположены вблизи побережья. Промышленные объекты, сельскохозяйственные и жилищные комплексы являются постоянно действующими источниками загрязнения почвы, подземных вод, атмосферы, рек и прибрежной акватории моря.

На примыкающем к берегу континентальном шельфе сосредоточены большие запасы нефти, газа, имеющие промышленное значение. Разработка этих месторождений, строительные и инженерно-геологические работы в шельфовой зоне являются мощным источником загрязнений морской среды и оказывают прямое негативное воздействие на прибрежные экосистемы.

Из сказанного следует вывод, что ЗССМ подвергается мощному антропогенному прессу. В этой узкой зоне земной поверхности наиболее ярко выражено тесное взаимодействие человека с окружающей природной средой, причем не в пользу природы.

Вместе с тем, привлекательные природные ресурсы ЗССМ предоставляют

богатые возможности населению для отдыха и укрепления здоровья. Поэтому в ЗССМ сосредоточены мировые рекреационные и бальнеологические комплексы, процветает индустрия туризма.

Таким образом, ЗССМ является наиболее уязвимой экологически областью на поверхности Планеты и в то же время наиболее ценной для человека в социальном и экономическом аспектах.

Проблема загрязнения Мирового океана в 1990 году была поставлена Международной объединенной Группой Экспертов по научным аспектам загрязнения морской среды (GESUMP) в центре глобальных экологических проблем [ 3 ]. Анализ современного состояния окружающей среды планеты показывает, что проблема эта имеет отчетливо выраженный региональный характер. Загрязнения распределяются по Мировому океану крайне неравномерно. Наиболее загрязнены внутриматериковые, средиземные водоёмы, окружённые странами с высокой плотностью населения, развитой промышленностью и сельским хозяйством. Яркий пример - Азово-Черноморский бассейн (АЧБ).

Прибрежная зона Черного и Азовского морей имеет важнейшее экономическое, социальное и геополитическое значение как для Украины, так и для России. Так экономика Украины во многом зависит от развития агропромышленных и морепромысловых комплексов южных районов, курортно-рекреационной индустрии, морского транспорта, рационального использования природных ресурсов ЗССМ, перспектив газонефтедобычи на шельфе.

Вместе с тем за десятилетия нерациональной расточительной эксплуатации природных ресурсов, необоснованной индустриализации прибрежной зоны, неконтролируемого загрязнения окружающей среды ЗССМ наряду с массой техногенных и антропогенных загрязнений, вносимых реками с обширных территорий водосборного бассейна,

привели АЧБ в тяжелое экологическое состояние.

Решение экологических проблем окружающей среды на глобальном или региональном уровне направлено, прежде всего, на выживание человека как биологического вида, сохранение систем жизнеобеспечения и создание здоровых, комфортных условий жизни и деятельности.

Сформировавшееся к настоящему времени понимание проблемы загрязнения моря от береговых источников и ключевой роли в этом ЗССМ, ставит в центр внимания ученых-экологов исследования контактных зон "суша-море". Наиболее уязвимые экологически, эти зоны жизненно важны для человека и, в первую очередь, нуждаются в защите, разработке и внедрении эффективных природоохранных мер по обеспечению устойчивого развития.

Именно этой задаче - разработке практических мер по защите прибрежной зоны моря от загрязнений с суши, обеспечению устойчивого развития зоны сопряжения суши и моря в геохимическом, социальном и экономическом аспектах на основе комплексных исследований состояния и взаимодействия четырех геосфер с учетом антропогенных и естественных факторов посвящена Программа "Геоэкология сопряжения суши и моря".

23 января 1998 г. утверждена программа научно - технического сотрудничества между украинскими и российскими организациями и предприятиями на период 1998 - 2005 г.г. в соответствии с Соглашением между Правительствами Украины и Российской Федерации о научно - техническом сотрудничестве ( подписанном в августе 1996 года). По представлению украинской и российской сторон в программу научно - технического сотрудничества двух стран была включена Программа "Геоэкология сопряжения суши и моря" ("ГЕОЭКО") как межгосударственная программа Украины и России:

"Разработка системы практических мер по обеспечению устойчивого развития геозкосистемы контактных зон суша-море на основе комплексных исследований состояния и взаимодействия сопряженных геосфер (литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы) в условиях антропогенного пресса; внедрение новых научно-обоснованных методов и технологий восстановления, охраны и рационального использования природных ресурсов, мероприятий по оздоровлению среды обитания человека, совершенствованию структуры землепользования в зонах сопряжения суши и моря с использованием новейших научных методов и технических средств Украины и России".

Программа "ГЕОЭКО" разработана рядом ведущих академических научно-исследовательских институтов Украины и Российской Федерации в области наук о Земле с участием специализированных научно-производственных объединений и организаций экологического профиля.

Программа представляет собой комплекс экономически обоснованных, взаимоувязанных с соисполнителями обеих стран по срокам, объемам работ и ресурсам перспективных исследований и проектных работ по приоритетному направлению современной науки: решению острых экологических проблем окружающей среды.

Впервые рассматривая зону сопряжения суши и моря как единую целостную геозкосистему Программа предлагает в качестве методологической основы широкую комплексность и многодисциплинарность натуральных исследований, охватывающих все четыре геосферы - литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу - в зоне их сопряжения.

Краткое рассмотрение известных программ, связанных с экологическими проблемами Азово-Черноморского бассейна ("Черное море", "Глобальная система наблюдений Черного моря" и др.),

показывает, что ни в одной из них (международных, национальных, региональных) зона сопряжения суши и моря не рассматривается как самостоятельный объект исследования, как единая, целостная геозкосистема, требующая комплексных исследований состояния взаимодействующих геосфер. Вместе с тем, именно комплексные исследования ЗССМ и практические меры по охране окружающей среды этой зоны занимают ключевую позицию в цепочке мероприятий по обеспечению устойчивого развития этой геозкосистемы в условиях антропогенного пресса, реализуемой в рамках предлагаемой Программы.

Ни одна из рассмотренных программ не имеет практической ориентации: существующие программы содержат научно-исследовательские блоки, но не включают разработку практических мероприятий по реальному обеспечению устойчивого развития геозкосистем, как это предусматривает программа "ГЕОЭКО".

Ближайшая цель Программы "ГЕОЭКО" – создание научной основы для разработки и внедрения практических мер по восстановлению, защите и охране природных ресурсов ЗССМ АЧБ, обеспечения условий устойчивого развития геозкосистемы контактной зоны «суша-море» (включая человека). В центре внимания Программы – ЗССМ, играющая ключевую роль в загрязнении морей береговыми стоками в условиях техногенеза. Именно этой зоне прямого контакта и взаимодействия всех четырех геосфер Программой придается ключевое значение в поисках путей вывода бассейна из экологического кризиса.

Программа предусматривает комплексные геоэкологические исследования важнейших процессов, определяющих состояние и взаимодействие геосфер – физических, химических, биологических, геологических, геохимических, геобиохимических и др., наиболее

интенсивно протекающих на границах раздела природных сред.

Таким образом, Межгосударственная Программа Украины и России "Геоэкология сопряжения суши и моря" является широко комплексной и междисциплинарной. Её реализация требует разработки и применения сложных комплексных методик и технологий натуральных экспериментальных исследований в море, на суше и в атмосфере, создания для этих целей специализированных измерительных комплексов, технических средств контроля экологического состояния окружающей среды и систем мониторинга, разработки систем сбора и обработки экологической информации, создания банка экологических данных о ЗССМ.

Началу работ по Программе должна предшествовать детальная проработка методических, технических и организационных вопросов, связанных с её реализацией. Это и предусмотрено Договором Миннауки Украины (№2М/130-98 от 29 мая 1998 г) с Морским гидрофизическим институтом (МГИ НАНУ) и Институтом геологических наук (ИГН НАНУ) головными организациями по Программе "ГЕОЭКО" со стороны Украины на выполнение Проекта "Разработка концептуальных основ геоэкологии сопряжения суши и моря в акватории Азовского и Чёрного морей".

Проект является первым этапом Межгосударственной Программы "ГЕОЭКО" и выполняется в рамках приоритетного направления №7 программы научно-технического сотрудничества Украины и Российской Федерации: "Экология и рациональное природопользование".

Разработка концептуальных основ геоэкологии сопряжения суши и моря предусматривает обоснование основной идеи, целей и задач Программы, определение главных направлений исследований и последующих практических действий по восстановлению, охране и защите природных ресурсов ЗССМ

АЧБ, разработку общей методологии геоэкологических исследований в ЗССМ, методик и технологий комплексных исследований на суше, в море и атмосфере, организационных принципов реализации Программы "ГЕОЭКО" как международной Программы.

ЗССМ рассматриваться как единая геоэкологическая система, включающая человека. Исследования её состояния и эволюции под влиянием естественных и антропогенных факторов, региональных или глобальных изменений окружающей среды должны включать социальные и экономические аспекты развития ЗССМ.

Такой подход к экологическим проблемам Азово-Черноморского бассейна и заложен в основу Концепции геоэкологии сопряжения суши и моря в акватории Чёрного и Азовского морей.

КОНЦЕПЦИЯ геоэкологии ЗССМ исходит из следующих основных положений:

- Проблема загрязнений Мирового океана - в центре глобальных экологических проблем,

- Азово-Черноморский бассейн - один из наиболее загрязнённых регионов Мирового океана;

- ЗССМ АЧБ играет ключевую роль в загрязнении морской среды от береговых источников;

- ЗССМ АЧБ - наиболее уязвимая экологическая часть его акватории (включая прибрежную полосу суши), имеющая в то же время исключительно важное социально-экономическое и геополитическое значение для Украины и России.

Для решения важнейшей современной проблемы Азово-Черноморского бассейна - выведения его из состояния жестокого экологического кризиса необходима разработка научно-обоснованных практических мер по восстановлению и защите природных ресурсов бассейна, оздоровлению ок-

ружающей среды ЗССМ как среды обитания человека.

Для разработки научно-обоснованных практических мер по преодолению экологического кризиса Черного и Азовского морей необходимы, в первую очередь, фундаментальные исследования состояния и взаимодействия четырех геосфер (атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы), находящихся в ЗССМ в прямом контакте, получение фактических данных о состоянии природной среды ЗССМ и биоты (включая здоровье человека).

Приоритетными направлениями являются исследования механизмов и процессов энергомассообмена между природными средами в ЗССМ на границах их раздела - море-атмосфера, море-дно, море-берег.

Конечной целью исследований и основанной на научных результатах последующей разработки и внедрения практических природоохранных мер в АЧБ является обеспечение условий устойчивого развития природно-хозяйственной системы ЗССМ, как единой целостной геосистемы (включая человека).

Концепция Программы "ГЕОЭКО":

- охватывает всю цепочку действий, ведущих к стабилизации экологического состояния окружающей среды ЗССМ АЧБ - от натуральных исследований и мониторинга состояния и взаимодействия четырех геосфер до разработки системы практического внедрения системы, методик и технологий восстановления и развития природного потенциала прибрежной зоны Черного и Азовского морей в границах Украины и России;

- держит в поле зрения научные, социальные и экономические аспекты международного сотрудничества в области решения современных экологических проблем АЧБ;

- определяет конкретные цели и программу практических действий по выведению Черного и Азовского морей из экологического кризиса на основе

исследований состояния и эволюции ЗССМ на стыке наук: физики, химии, биологии, геологии, геохимии, геофизики, физики атмосферы, медицины, экономики; по существу, этот комплекс наук в совокупности представляет основу двух главных прикладных разделов экологии - геоэкологии и социальной экологии, занимающихся изучением взаимодействий природы и общества.

На основе анализа современного состояния АЧБ Концепция "ГЕОЭКО" предусматривает планомерное развитие исследований ЗССМ Черного и Азовского морей в границах Украины и России, начиная с более уязвимых экологических участков побережья и регионов, имеющих наибольшее значение для двух сотрудничающих стран.

Концепция "ГЕОЭКО" исходит из общих интересов Украины и России в предотвращении экологического кризиса АЧБ, единого для обеих стран.

Анализ современного состояния окружающей среды бассейна и основных факторов (естественных и антропогенных), обусловивших его кризисное состояние, показал, что ключевую роль в загрязнении морей играет ЗССМ на обширной части его северного побережья, принадлежащей России и Украине и составляющей 58,6% общей длины берегов АЧБ. Существенный вклад в загрязнение окружающей среды вносят расположенные здесь крупные промышленные и портовые комплексы. В результате именно в границах Украины и России ЗССМ Черного и Азовского морей, наиболее уязвима экологически и в то же время играет достаточно важную роль в загрязнении окружающей среды АЧБ в целом.

Общей стратегией Концепции "ГЕОЭКО" является последовательное развитие исследований ЗССМ АЧБ (а затем принятия практических мер по восстановлению природных ресурсов бассейна и защите его окружающей среды), начиная с наиболее уязвимых

участков, имеющих наибольшее значение для Украины и Российской Федерации в экономическом и социальном аспектах.

Проблема выбора приоритетных районов и очередность их исследований диктуется, прежде всего, ограниченными возможностями финансирования предстоящих работ как со стороны Украины, так и РФ в связи с жестоким экономическим кризисом в обоих государствах. Именно поэтому одной из первоочередных задач общей стратегии Концепции является оптимальный выбор того минимального начального объема работ, который сможет дать уже на первых этапах определенный результат в достижении целей и задач Проекта "ГЕОЭКО".

Предварительный анализ состояния Черного и Азовского морей позволяет обоснованно определить приоритеты и очередность исследований районов ЗССМ в границах Украины и России.

Начало работ по Проекту "ГЕОЭКО" планируется параллельно на побережье Украины (ЗССМ п-ва Крым) и России (северо-восточная часть Кавказского побережья).

Обоснованием такого выбора приоритетов является следующее:

1. ЗССМ Крымского побережья отчетливо подразделяется по природным условиям и структуре землепользования на районы преимущественно сельскохозяйственного освоения, промышленного и рекреационного значения. Это позволяет для контраста и сопоставления результатов исследований выбрать конкретные районы Крыма, различающиеся по всем названным выше характеристикам и расположенным в непосредственной близости друг от друга - что облегчает организацию и проведение работ.

2. В ЗССМ п-ва Крым (в акватории пос. Качивели, район большой Ялты) существует морская исследовательская платформа (на базе Экспериментального отделения МГИ НАНУ), удобная для

создания Контрольно-экологического полигона (КЭП) и организации мониторинга состояния окружающей среды ЗССМ в Черном море.

3. ЗССМ Кавказского побережья РФ также отчетливо подразделяется по геоморфологическим характеристикам и специфике хозяйственного освоения прибрежной зоны на портово-промышленные, сельскохозяйственные и рекреационные районы.

4. Прибрежные акватории Черного моря, входящие в ЗССМ п-ва Крым и Кавказского побережья, изолируются от основной акватории моря единой системой ОЧТ, образующей "гидродинамический (биогеохимический) барьер".

Исследования процессов энергомасообмена и закономерностей распространения в море загрязнений в условиях различной структуры шельфа дадут необходимый фактический материал для понимания моделирования и прогноза загрязнения Черного моря от береговых источников через ЗССМ.

В Крыму в первую очередь можно выделить район Севастополя, характеризующийся высокой плотностью населения, развитой индустрией и сельским хозяйством, имеющий мощный портовый комплекс. В качестве второго типичного Крымского региона целесообразно выбрать рекреационную зону с существенно иной структурой землепользования и природными условиями - район Большой Ялты (Симеиз, Качивели).

Конечной целью Программы является разработка и внедрение системы научно обоснованных практических мер по предотвращению загрязнения окружающей природной среды в зонах сопряжения суши и моря, эффективных методик и технологий восстановления их природного потенциала, обеспечению устойчивого развития ЗССМ.

Предназначение проекта "ГЕОЭКО" - разработка концептуальных основ, общей методологии и конкретных ме-

тодик комплексных геоэкологических исследований ЗССМ АЧБ, определение главных направлений, приоритетов и принципов организации работ.

Проект "ГЕОЭКО", таким образом, создает научную и организационную основу для реализации Межгосударственной Программы двух стран, направлен на оздоровление бассейна Черного и Азовского морей, восстановление их промыслового биопотенциала, возрождение и развитие рекреационных ресурсов Черного и Азовского морей.

Проект предусматривает разработку и внедрение эффективных практических мер по обеспечению устойчивого развития ЗССМ АЧБ в границах Украины как важнейшей природно-хозяйственной системы юга страны, что определяет безусловную актуальность и практическое его значение.

Постановка задач Проекта подразумевает разработку общей методологии комплексного натурального эксперимента при единой пространственно-временной системе измерений в сопряженных средах с целью районирования сопряженных территорий и акваторий по распределению токсичных веществ, исследования процессов переноса загрязнений с суши в море, механизмов их распространения и трансформации в морской среде, потоков вещества и миграции осадочного материала в прибрежной акватории. В итоге будут выявлены важнейшие факторы воздействия на окружающую среду и прибрежные экосистемы ЗССМ (естественные и антропогенные).

Отсюда вытекают конкретные задачи по техническому обеспечению натуральных исследований, главные направления и содержание проектных и методических работ, практических действий по оздоровлению окружающей среды и восстановлению равновесия в системе человек - природа, управлению зоной сопряжения, составляющих основу концепции геоэкологии ЗССМ.

В рамках научно-исследовательского блока Программы "ГЕОЭКО" предусматривается решение следующих задач:

- разработка концептуальных основ и методологии комплексных геоэкологических исследований ЗССМ при одновременных измерениях на суше, в море и в атмосфере;

- разработка специализированных измерительных комплексов;

- натурные исследования состояния и взаимодействия природных сред в ЗССМ (выявление главных источников загрязнения окружающей среды, исследование концентраций, состава и потоков в море загрязняющих веществ в речном стоке, в заливах, лиманах, в местах сброса в море промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод; при этом особое внимание должно быть уделено процессам миграции загрязнений на суше, перемешивания и распространения поллютантов в атмосфере, в морской среде и донных осадках);

- создание комплексного контрольно-экологического полигона (ККЭП) и мобильных лабораторий для оперативной оценки состояния окружающей среды ЗССМ;

- создание информационных систем и компьютерного банка данных об экологическом состоянии ЗССМ в исследуемых районах;

- реализация системы мониторинга окружающей среды ЗССМ контактными и дистанционными методами;

- теоретические исследования и моделирование исследуемых процессов в море, на суше и в атмосфере.

В дальнейшем предусматривается:

- разработка и внедрение методик и технологий ликвидации (ограничения) загрязняющих потоков, рекультивации загрязненных участков суши и моря в исследуемых районах ЗССМ;

- разработка практических рекомендаций, проектов и системы мер по оптимизации структуры природопользо-

вания, в том числе развитию рекреационного потенциала ЗССМ;

- разработка системы практических мер по экологической защите человека (выявление очагов эколого-зависимых заболеваний, оценка уровней риска для здоровья населения в связи с неблагоприятным воздействием окружающей среды, разработка предложений по проектированию и внедрению оздоровительных комплексов, экологически безопасных систем водообеспечения производственных технологий местных предприятий и т.д.);

- разработка и внедрение практических природоохранных мероприятий по обеспечению устойчивого развития и систем интегрированного управления природохозяйственными системами ЗССМ АЧБ в районах украинского и российского побережий;

- разработка концепции, организационных и правовых основ международного сотрудничества Украины и Российской Федерации в ходе выполнения Программы "ГЕОЭКО", в том числе правового регулирования вопросов интегрированного управления природохозяйственными системами в регионах Украины и России ЗССМ АЧБ в рамках Межгосударственной Программы "ГЕОЭКО".

Концепция "ГЕОЭКО" предусматривает в первую очередь разработку единой методологии комплексных геоэкологических исследований ЗССМ как целостной геоэкосистемы (включая человека).

По определению, методология исследований – учение о структуре, организации, методах и средствах научной деятельности, определение приоритетов и логической последовательности действий.

В данном случае, методология комплексных геоэкологических исследований ЗССМ определяет принципы организации, формы и способы сбора информации о состоянии, эволюции и взаимодействии четырех геосфер; влия-

нии гидросферы, атмосферы и литосферы на биосферу; формировании экологического состояния окружающей среды ЗССМ как среды обитания человека.

Концепция "ГЕОЭКО" предусматривает разработку единой методологии комплексных геоэкологических исследований ЗССМ при организации одновременных измерений состояния и взаимодействии сопряженных природных сред на суше, в море и атмосфере.

Задачи комплексных геоэкологических исследований сопряженных сред требуют разработки специальных методик и технического обеспечения работ: с одной стороны, должен быть осуществлен береговой комплекс исследований (эколого-геохимических, гидрогеологических, микробиологических исследований почв, растительности, поверхностных и подземных природных вод суши, медико-биологических и др. в прибрежной территории), с другой стороны – морской комплекс (гидрологические, гидрофизические, гидрохимические, геохимические, гидробиологические, биохимические и др. исследования) в зоне ближнего шельфа и в открытых акваториях, а также геохимические, геологические и геофизические исследования донных отложений, закономерностей их формирования и динамики, и, наконец, атмосферный комплекс исследований (динамика, состав и уровень загрязнений воздушной среды).

В комплексе геоэкологических исследований ЗССМ приоритетными являются исследования на границах раздела природных сред (суши, моря и атмосферы), требующие особых методик, технологии и технических средств.

В рамках морского комплекса геоэкологических исследований на начальном этапе разработаны:

- методология исследований фоновых гидрологических, гидрофизических и гидрохимических характеристик прибрежной акватории ЗССМ,

- концептуальные основы и методология комплексных геологических исследований в ЗССМ.

- методология изучения процессов энергомассообмена в морской среде (модели, эксперименты, расчеты) как ключевых физических процессов, определяющих состояния и эволюции морской составляющей ЗССМ.

- методология глобальных оценок потоков геоэкологических субстанций через ЗССМ АЧБ.

- концепция и постановка задач исследований естественных инфразвуковых электроакустических колебаний как одного из экологических факторов в ЗССМ.

- концепция создания компьютерной системы изучения и оценки влияния изменения уровня моря на природно-хозяйственную деятельность человека в ЗССМ.

- методология устойчивого развития природно-хозяйственных комплексов ЗССМ на основе системного подхода.

- методология спутникового мониторинга состояния ЗССМ.

- методология исследования и контроля рельефа дна в специфических условиях мелководной прибрежной акватории ЗССМ.

- концепция и методология контроля экологического состояния окружающей природной среды в ЗССМ Черного и Азовского морей, включая стационарный комплексный контрольно-экологи-

ческий полигон (ККЭП) на базе морской платформы ЭОМГИ НАНУ в Черном море, определение, обоснование и построение системы морских и береговых станций (пунктов), обеспечивающих постоянный контроль экологического состояния окружающей среды ЗССМ.

- концепция и методологические основы геоэкологических исследований акватории Азовского моря.

- концепция создания интегрированной многоцелевой компьютерной геоэкоинформационной системы, включая - разработку и реализацию системы сбора, передачи, хранения, оперативной обработки и анализа разнородной геоэкологической информации о состоянии всех компонентов природной среды в ЗССМ и биологических характеристик прибрежной акватории Черного и Азовского морей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Айбулатов. Геоэкология береговой зоны моря // Проблемы развития морских берегов. М. 1989 г. с. 81-87.
2. В.Г. Горшков. Пределы устойчивости биосферы и окружающей среды // Препринт № 1336. Л., ЛИЯФ. - 1987 г. - 62 с.
3. GESUMP. 1990. Review of the state of the Black Sea Region Marine Environment. IMO / FAO / UNESCO / WHO / IAFA / UNTUNEP. Joint Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Pollution (GESUMP). Nairobi. 41 p.

**ОСОБЕННОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУКСИРУЕМОГО  
СКАНИРУЮЩЕГО ПО ГЛУБИНЕ  
КОМПЛЕКСА МГИ 9201М  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОЛОГО-  
ОПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ШЕЛЬФОВЫХ  
ПАЛЕОДОЛИН И КАНЬОНОВ**

**Н.Н. Карнаушенко,  
Г.С. Дворянинов, Н.А. Запевалова**  
Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г.Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Шельфовые зоны морей и океанов, особенно низкоширотные, являются объектами наиболее интенсивных исследований в настоящее время. Повышенный интерес к ним вызван не только практическими целями как к регионам наибольшей биопродуктивности, значительными и мало освоенными запасами минеральных ресурсов, но и спецификой этих регионов: высокими уровнями антропогенно-техногенной нагрузки, интенсивными динамикой и изменчивостью полей в пространственно-временных масштабах от малых до размеров бассейна.

Сложные орография побережья и рельеф дна, наличие каньонов и палеодолин, мелководье и интенсивные приливы, воздействие динамики открытого моря (океана) значительно усложняют их изучение и делают не эффективными традиционные методы исследований.

Одним из подобных регионов является шельф западного побережья Африки и, в частности, шельф Гвинеи - один из наиболее протяженных и мелководных, на примере которого будет показана эффективность использования новых гипотез и нетрадиционных методов исследований.

Восточная часть Тропической Атлантики являются зоной взаимодействия таких звеньев крупномасштабной циркуляции, как Северное и Южное Пассатные течения (СПТ, ЮПТ), Межпассатное противотечение (МППТ), Канар-

ское и Гвинейское течения (КТ, ГТ). Это, а также непосредственное воздействие пассатов, формирует гидродинамическую, гидрохимическую и биологическую структуры региона. Прибрежная акватория Гвинеи - динамически наиболее активная часть этой области. Ее особенность состоит в том, что шельф занимает большую площадь, мелководен и обладает высокой биопродуктивностью. При глубинах от 10 до 70 м его ширина достигает 150 км. Внутригодовая пространственно-временная изменчивость биопродуктивности определяется изменчивостью гидродинамики. Она, в свою очередь, обусловлена вариациями указанных крупномасштабных явлений, меридиональными миграциями внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), вызывающими существование резко выраженных сухого и влажного сезонов с сильной изменчивостью количества атмосферных осадков и распресненных вод, сезонными изменениями апвеллинга.

Процессы в этой зоне существенно отличаются от процессов открытого океана, так как из-за наличия сложной орографии побережья, мелководья, пересеченного рельефа дна большую роль здесь играют не только крупномасштабные явления, но и локальные, имеющие существенно меньший пространственно-временной масштаб, которые обусловлены приливами, стоками рек, наличием каньонов, эстуариев и палеодолин, перегревом и другими факторами.

Для исследования специфических процессов на шельфе при ограниченных финансовых и экспедиционных возможностях были спланированы и проведены два кратковременных рейса малотоннажного судна "Устрица": 18-24.09.-1991г., 17-23.04.1992г., а также суточная экспедиция-целевой океанологический разрез 12.03.1992г.

В период 18-24.09.1991г. выполнены внутриканьонные съемки в трех наиболее протяженных палеоканьонах шель-

фа Гвинеи Компони, Нуньес, Конкуре, а также между ними с целью выделения особенностей термохалинной структуры вод каньонов и шельфа, оценки их пространственно - временной изменчивости в различные фазы прилива. Измерения  $T^{\circ}C$ ,  $S\%$  производились на ходу судна не обрывным СТД зондом МГИ 4204.

Также был спланирован и выполнен специальный 18-й рейс НИС «Устрица». Он проведен в шельфовой области Гвинеи в период с 17 по 23 апреля 1992 года. В процессе экспедиции в районе, включающем палеоканьоны рек Нуньес и Конкуре, СТД-зондом МГИ 4204 выполнен гидрологический полигон, включавший 40 зондирований в различные фазы сизигийного прилива. В гидрологической съемке выполнены разрезы вдоль палеоканьонов рек Нуньес и Конкуре. Они повторены дважды так, что информация на них получена в противофазах прилива. В окрестности начала свала глубин,  $\varphi = 9.1^{\circ}N$ ,  $\lambda = 15.1^{\circ}W$ , в устье каньона Нуньес на глубине  $H=70$  м в течение 3-х суток стояла автоматическая буйковая станция (АБС) с четырьмя измерителями вектора скорости течений  $V$ , температуры и солёности. Датчики располагались на глубинах  $z=5; 15; 65$  и  $68$  м и регистрировали информацию с дискретностью во времени  $\Delta t=5$  мин. Начало съемки вдоль каньона и работы АБС совпадали с максимальным приливом. В этой же точке с целью выяснения приливной динамики и механизма перестройки гидрологической структуры в зависимости от фазы прилива, выполнена суточная станция с ежечасным зондированием.

Кроме этого, 12 марта 1992 г., т.е. за месяц до этого, вдоль каньона Конкуре в течение суточного рейса были осуществлены специализированные наблюдения с использованием гидролого-оптического комплекса высокого разрешения МГИ 9201. Измерялись электропроводность (К- безинерционный индикатор температуры), спектральный пока-

затель ослабления направленного света (величина, обратная прозрачности) в инфракрасной (PO1) и ультрафиолетовой (PO2) областях спектра, а также флуоресценция (F); все с вертикальным разрешением  $\leq 10$  см.

Анализ материалов экспедиций, особенности океанологической структуры шельфа, приливная динамика в мелководной шельфовой зоне в области каньонов, гипотезы и их обоснование изложены в препринте Г.С.Дворянинова, Н.Н.Карнаушенко [1]. На эти результаты мы ссылаемся и частично их используем в настоящей работе при обосновании особенностей экспериментальных исследований столь сложного и динамически активного региона.

На рис. 1б представлены взятые из препринта зависимости векторов скорости течений от фазы прилива на разных глубинах, измеренные на АБС у мористой границы каньона Нуньес (показана флажком на карте, рис. 1а) Их величина и направление получены по интервалу времени, включавшему пять полных циклов приливов. Цифры 1,2,3 у конца векторов соответственно обозначают средний вектор скорости за все пять полных циклов приливов, среднее за полупериод между полной и малой водой и, наоборот, - между малой и полной водой. Там же приведена система координат с осью  $x$ , направленной на восток, и осью  $y$  - на север. И масштаб скорости. Осреднение за время, кратное числу периодов прилива, отфильтровало периодическую приливную часть. Поэтому (1) дают значения и направления квазистационарного потока, обусловленного течениями, имеющими масштаб временной изменчивости много больший, чем период прилива.

Направления векторов однозначно указывают на то, что осредненные течения на всех четырех горизонтах имеют северо-западное направление, близкое к ориентации изобат. Оно противоположно тому, какое должно иметь КТ, и ни один из векторов не направлен на юго-

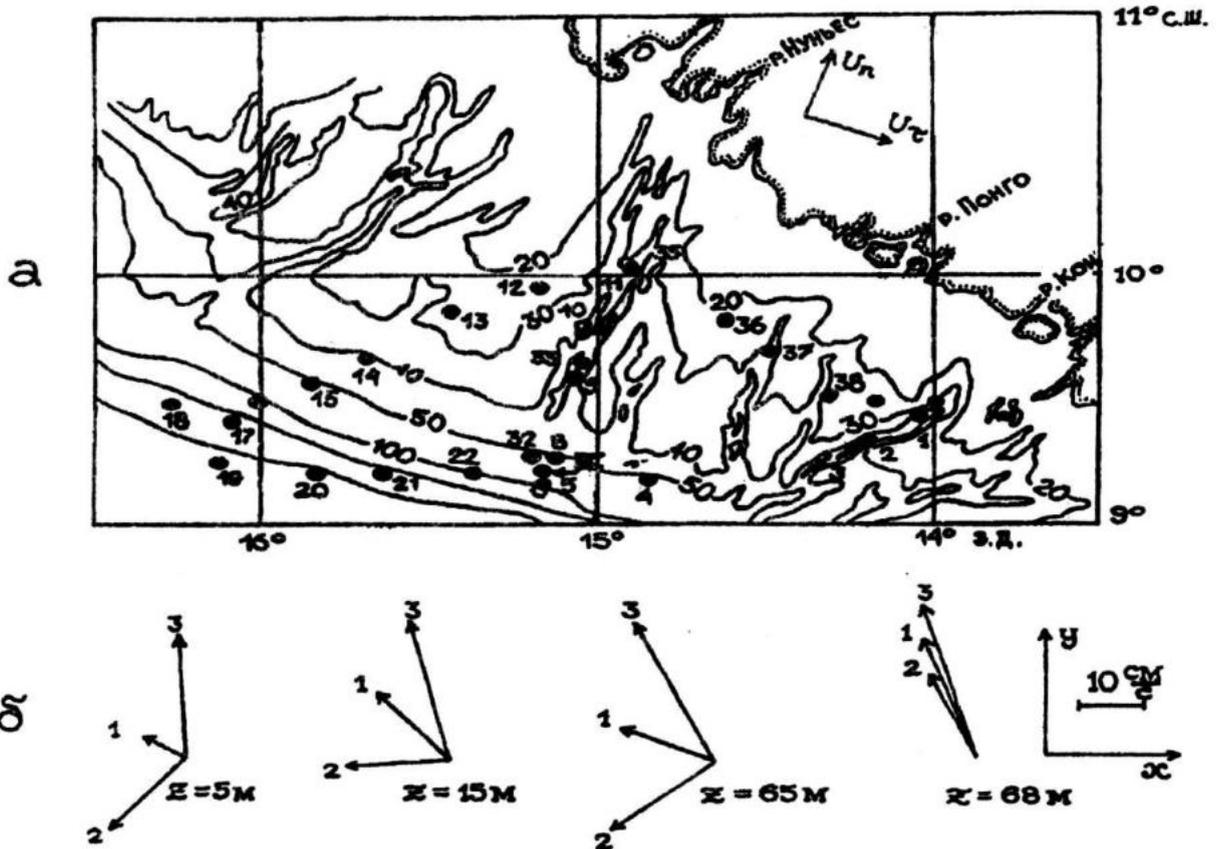


Рисунок 1. а - карта полигона наблюдений; показаны: рельеф шельфа, флажком отмечен буй. б - векторы скорости течений,  $z = 5; 15; 65; 68$  м. В зависимости от фазы прилива.

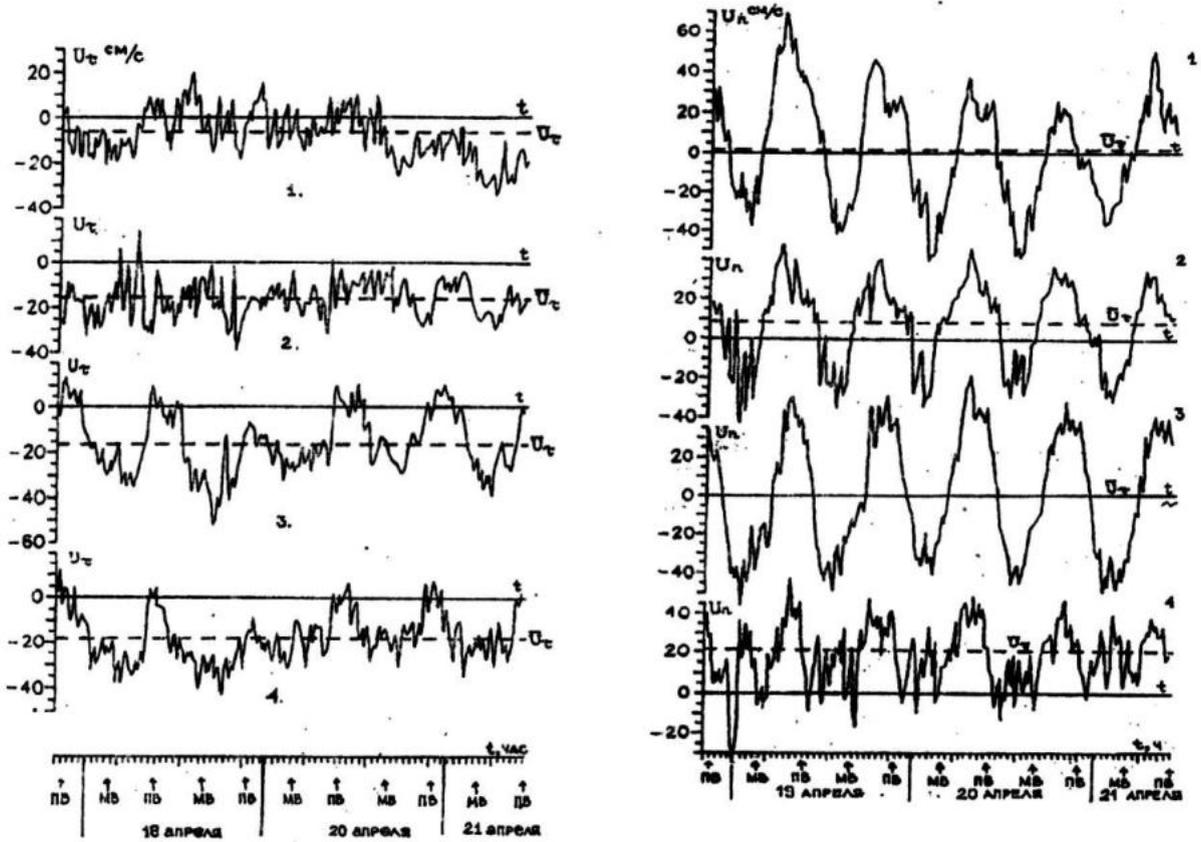


Рисунок 2 а, б. а - временная изменчивость вдольбереговой составляющей скорости  $U_x$ ; б - временная изменчивость нормальной к берегу (вдольканьонной) составляющей скорости  $U_n$ . Все на глубинах 5; 15; 65; 68 м.

восток. Поток с наибольшими скоростями лежит в придонном пограничном слое, т.е. там, где на шельф вторгаются холодные и соленые воды, приносимые из толщи открытого океана.

Направление интегрального по глубине потока, распределение скоростей течений по  $z$  и их зависимость от фазы прилива еще четче проявляются на графиках, представленных на рис. 2 а, б. На них приведена изменчивость во времени компонент вектора скорости:  $U_{\tau}$  ориентирован вдоль изобат с положительным направлением на юго-восток, а  $V_n$  — направлен вдоль каньона к берегу. Там же указаны их средние значения за максимальное число полных циклов прилива. Система координат ( $U_{\tau}$ ,  $V_n$ ) приведена на рис. 1а в верхнем правом углу. Под графиками указано время и фазы приливов; аббревиатуры ПВ и МВ соответствуют полной и малой воде прилива.

Из графиков видно, что по направлению приливные течения практически совпадают с направлением оси каньона. Это же следует из расчета эллипсов приливных течений в этом районе [2,3]. Вдольканьонная составляющая подвержена периодическому возмущению приливом существенно больше, чем составляющая, направленная вдоль берега.

“Вдольбереговая” средняя скорость  $U_{\tau}$ , полученная из мгновенной отфильтровыванием приливной части, увеличивается с глубиной от 8 см/с при  $z=5$  м до 18,5 см/с при  $z=68$  м. При этом поток, захватывающий толщу воды от  $z=15$  м до дна, имеет практически одинаковые, хотя немного возрастающие с глубиной, скорости:  $U_{\tau}=16$  см/с при  $z=15$  и 65 м,  $U_{\tau}=18,5$  см/с при  $z=68$  м. Он отрицателен на всех горизонтах, т.е. имеет направление, противоположное тому, которое должно иметь КТ.

Итак, выполненные на АБС измерения скоростей течений в сухой сезон показали, что их направление и распределение по глубине дают основание утверждать, что в этот период на шельф Гвинеи не проникало Канарское тече-

ние. Гидрологический, Т-S анализ также подтверждают это.

В связи с этим естественно возникает предположение, что, возможно отсутствие КТ на шельфе Гвинеи и такое распределение течений в апреле 1992 г. является следствием сильного аномального явления в крупномасштабном взаимодействии атмосферы и океана в этом году, а не является закономерностью. Но тогда, соответственно, и распределения гидрологических и гидрохимических характеристик в это время здесь должны быть также существенно иными, чем среднеклиматические. Для выяснения этого в препринте [1] был выполнен анализ гидрологических и гидрохимических параметров. Он показал, что распределения температуры, солености и фосфора в своей основе совпадают с их климатическими распределениями, отличаясь лишь во второстепенных деталях. Изотермы, изохалины отслеживают рельеф дна и вытянуты вдоль изобат.

Возможен ли другой механизм, формирующий языкообразное распределение Т и других характеристик на шельфе Гвинеи, а не КТ? Он был сформулирован Г.С.Дворяниновым [1] и заключается в следующем.

1. В сухой сезон распределение Т в поверхностном квазиоднородном слое (но не во всей толще) за счет прогрева должно быть таким, что ее изолинии будут параллельны берегу с максимальными значениями Т на мелководной части у берега, с уменьшающимися ее значениями при удалении от него.

2. С другой стороны, распределение Т на шельфе формируется под воздействием приливов, которые ортогональны изобатам. Приливы и генерируемые ими на кромке шельфа внутренние волны и течения распространяются в сторону берега ортогонально изобатам и перемешивают придонную область и глубинные слои. Здесь образуется мощный перемешанный слой (имеющий практически постоянную толщину поперек

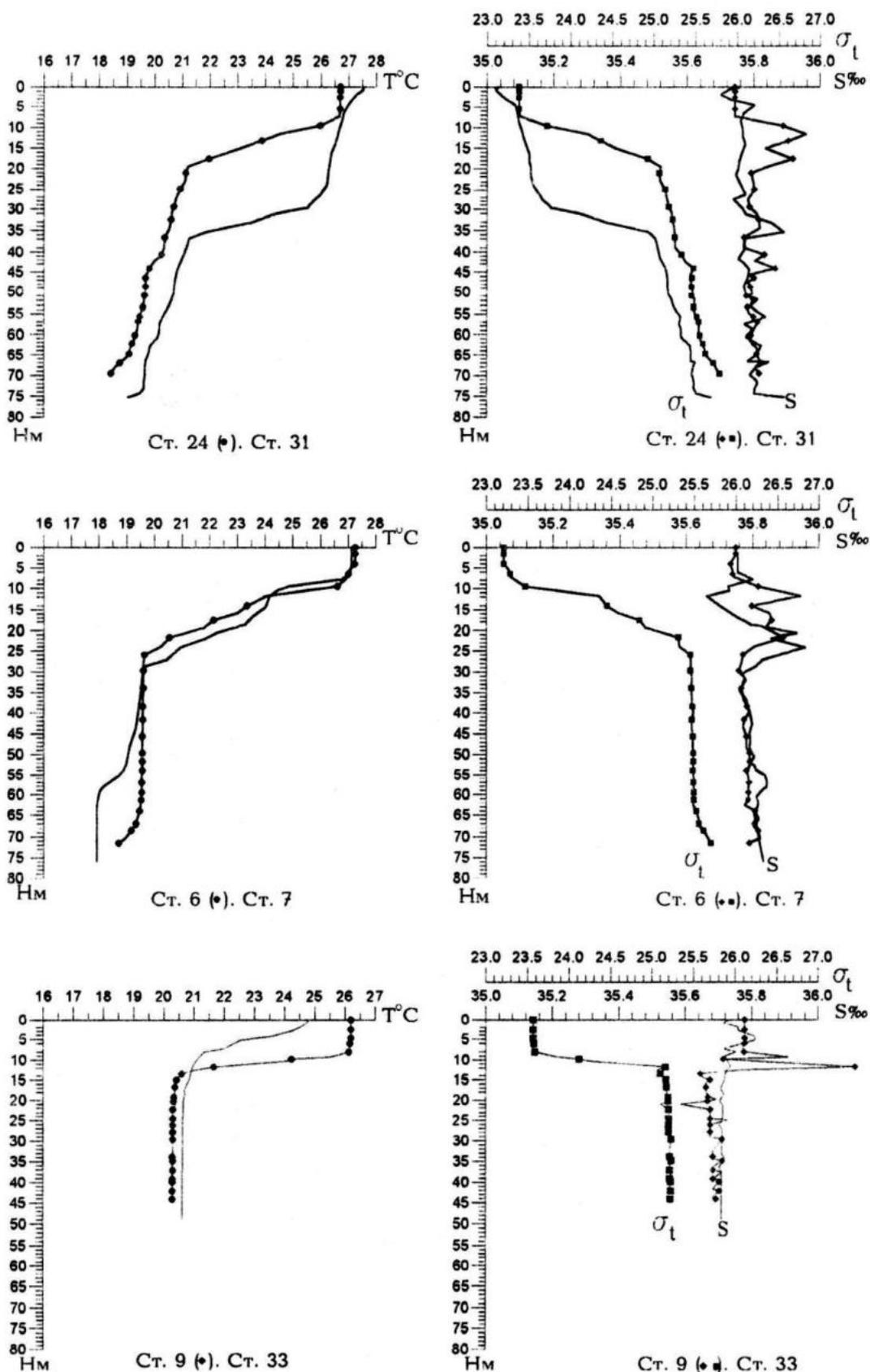


Рисунок 3 а, б, в. Распределение по глубине  $T^{\circ}\text{C}$  и  $S\text{‰}$  на свале глубин (ст. 24, 31; 6, 7) и в каньоне (9, 33) в разные фазы прилива: а) 24 ( $M=04\text{ч } 21\text{м}$ ;  $\Pi=10\text{ч } 29\text{м}$ ;  $H=09\text{ч } 00\text{м}$ ); 31 ( $M=H=16\text{ч } 50\text{м}$ ); б) 6 ( $M=14\text{ч } 48\text{м}$ ;  $\Pi=20\text{ч } 52\text{м}$ ;  $H=19\text{ч } 40\text{м}$ ); 7 ( $\Pi=H=20\text{ч } 52\text{м}$ ); в) 9 ( $M=03\text{ч } 06\text{м}$ ;  $\Pi=09\text{ч } 14\text{м}$ ;  $H=04\text{ч } 00\text{м}$ ); 33 ( $M=16\text{ч } 50\text{м}$ ;  $\Pi=22\text{ч } 42\text{м}$ ;  $H=22\text{ч } 10\text{м}$ ).

всего шельфа), что демонстрирует распределение T и S, представленное на рис. 7а, 8в, 13-15 и других препринта [1], а также рис. 48 на стр.190 работы [2], рис. 5 работы [4]. Перемещаясь к берегу, вследствие того, что общая глубина уменьшается, а толщина перемешанного слоя остается практически постоянной, холодные массы воды придонного слоя выклиниваются к поверхности так, что с уменьшением глубин все более холодные слои выходят на поверхность океана, понижая в направлении к берегу ее температуру. Этот эффект отчетливо проявляется на вертикальных разрезах T и S, сделанных по оси каньона от его устья в направлении к берегу по данным, полученным в одной фазе прилива [1]. Он и приводит к наблюдаемому расположению изотерм.

Удивительно, что при исследовании пространственно-временной изменчивости гидрофизических характеристик, приливных барьеров, фронтальных зон и т.д., в работах [5-9] использовались совокупно, без систематизации и классификации, измерения, полученные совершенно в разные фазы прилива, отлива, в сизигии и квадратуры. В то же время очевидно, что на мелководье протяженного шельфа, каким является Гвинейский, где амплитуды приливов сопоставимы с общей глубиной прибрежной зоны, при наличии эстуариев и каньонов, при скоростях приливного переноса, достигающих нескольких метров в секунду, пространственно-временная деформация всех океанологических характеристик за счет этих причин может быть больше межсезонной.

Все сказанное подтверждают результаты наших измерений, выполненных на НИС "Устрица" 17-23.04.1992г.[1]. Так распределения по глубине температуры и солености, демонстрирующие сильную зависимость от фазы прилива, представлены на рис. 3а, б, в. Причем, станции 6,7 и 24,31 выполнены на вер-

шине свала глубин (в устье каньона Нуньес), где стоял буй, а 9,33 в самом каньоне, см. рис.2а. Заметим, что измерения на станциях 6.7 (вблизи фазы прилива) и 24,31 (в противофазе прилива) попарно получены в один и тот же день в одном цикле прилива, а на станциях 9, 33 с разницей в двое суток, но также в противоположные фазы прилива.

Из этих данных следует, что даже вдали от берега распределения гидрологических характеристик сильно зависят от фазы прилива. Они изменяются по всей глубине, а максимально – в области квазиоднородного слоя (КОС) и скачка плотности; температура – на шесть-семь градусов, значительна изменчивость и солености. Толщина же КОС при этом изменяется не менее, чем на пятнадцать метров (сравним распределения T(24) и T(31); аргумент в скобках указывает номер станции). Приведенные наблюдения исключают возможность строить изолинии, фронты, пространственные распределения и делать выводы без учета приливов даже у границы шельфа.

Сравнение распределений T и S по глубине в каньоне (ст. 9,33) и вне его (ст. 24,31) выявляет еще ряд эффектов:

а) В обоих случаях в моменты, близкие, или совпадающие с низкой водой, верхние квазиоднородные слои в несколько раз толще, а температура у поверхности выше, чем в момент высокой воды, т.е. в окрестности времени прилива. Эта особенность справедлива для всей области шельфа и полностью подтверждает высказанные нами [1] предположения.

б) Очевидно, что если в каньоне и на мелководье ниже скачка плотности залегает практически однородный слой, температура в котором у дна меньше лишь на десятые доли градуса, чем в его верхней части, то в районе начала свала глубин ниже скачка существует заметное линейное затухание T с приближением ко дну, а разница температуры в

момент прилива и отлива здесь достигает нескольких градусов.

Распределения  $T(z)$  на ст. 6 и 7, выполненные в одной и той же точке соответственно за час до наступления максимального прилива и в его момент, показывают как быстро разрушается однородный глубинный слой под скачком плотности. Поступающие у самого дна по склону холодные воды вытесняют теплые, захватывают толщу в несколько десятков метров, что снова соответствует предположениям.

Сильную разницу распределения температуры по  $z$  в зависимости от приливных фаз, что уже выше отмечалось, хорошо демонстрирует сравнение  $T(24)$  и  $T(31)$ , которые получены соответственно в момент, близкий к максимальному приливу, и в полный отлив.

в). Особенностью распределения солености является наличие максимума, лежащего в области скачка плотности над холодным нижним слоем. Причем, чем более резким оказывается скачок плотности, тем более тонкой прослойка повышенной солености. Сравните соответственно  $T(24)$  и  $S(24)$  с  $T(31)$  и  $S(31)$  рис. 3а, а также  $T(9)$ ,  $S(9)$  с  $T(33)$ ,  $S(33)$ . Эти особенности важны – они подтверждают наличие здесь пограничного слоя с признаками проскальзывания (жидкой стенки).

Следующей закономерностью распределения  $S$  является то, что если на свале глубин соленость в нижнем слое больше, чем в верхнем, то в каньоне она, напротив, меньше. Это демонстрирует сравнение ее распределений на ст. 6, 7 и 24, 31 с распределениями, полученными на ст. 9, 33; и подтверждает факт, что непосредственно в каньонах процесс перемешивания интенсивнее и захватывает большую часть по отношению к общей высоте столба воды.

г). Как показывает сравнение графиков  $S(9)$  и  $S(33)$ , соленость в каньоне в верхней части скачка увеличивается в стадии прилива, а затем к его концу происходит эрозия соленой прослойки.

Это же справедливо и в устье каньона. Отметим, что так как это явление имеет место, то оно подтверждает факт, что в процессе прилива КОС за счет давления снизу увеличивающимся в толщине ППС, соскальзывает; в этот момент здесь внедряется соленая прослойка, а затем КОС настолько уменьшается в толщине, что его структура эродирует, разрушая и соленую прослойку, и уменьшая температуру, так как его замещает верхний слой скачка.

Во время отлива, напротив, КОС становится более мощным, скачок температуры резким из-за резкого опускания скачка плотности, и на него снова вторгается соленая вода: ср.  $T(9)$  с  $T(33)$  и  $T(31)$  с  $T(7)$ , рис. 3а, б, в.

Как подчеркнуто в [1] отмеченные эффекты совокупно становятся объяснимыми и естественными, если скачок плотности, разделяющий верхний квазиоднородный и нижний перемешанный слои, при приливо-отливной динамике действительно играет роль жидкой границы между ними, а в его окрестности образуется аналог пограничного слоя. В таком случае верхний и нижний слои перемещаются друг относительно друга ("проскальзывают"), перенося массы воды в направлении к берегу, или от него, и изменяя при этом свою толщину. В момент прилива вода из открытой глубокой части океана, поднимаясь по свалу глубин, при выходе на шельф будет, во-первых, увеличивать скорость и нагнетать ее массу, поэтому, понятно, температура в нижней части вплоть до скачка плотности должна понижаться, а сам скачок, играющий роль жидкого дна, мало деформируясь, подниматься вверх, сдавливая и вытесняя верхний квазиоднородный слой. Вода КОС под совместным воздействием этого эффекта и приливов станет приобретать большую скорость, чем скорость подстилающего ее скачка плотности – жидкого дна.

При планировании съемок нами, дополнительно к изложенному, ставилась

еще одна цель [1]. А именно: важнейшей задачей при исследовании динамики мелководных шельфовых областей является проблема их загрязнения. И выяснение возможного механизма выноса взвесей в открытый океан, т.е. вентиляции прибрежных вод, - вопрос принципиальный. Именно для шельфа Гвинеи - мелководного, наиболее широкого в Мировом Океане - эта задача является одной из самых актуальных и практически важных.

Некоторая попытка понять совместную роль приливно-отливной динамики и каньонов в процессе вентиляции прибрежных вод, отсоса примесей из шельфовой области и снабжения ее чистыми водами открытого океана и была предпринята в экспериментах, хотя мы имели ограниченные возможности.

12 марта 1992 г. на НИС. "Устрица" был выполнен целенаправленный экспрессный океанологический разрез вдоль каньона Конкуре. Задачей эксперимента было получение в течение малого временного отрезка информации о закономерностях пространственного распределения с высоким разрешением спектральных показателей ослабления света (мутности) вод вдоль каньона. Требование иметь данные в разных точках каньона, минимально отличающиеся по времени, диктовалось тем, что как было показано, океанологические характеристики в этой области испытывают сильную пространственную (особенно по вертикали) деформацию в зависимости от фазы прилива, и если мы хотим исследовать некоторые принципиальные, постоянно действующие закономерности, связанные с динамикой приливов, то должны анализировать информацию, относящуюся к одной и той же фазе приливов, иначе результаты и выводы не будут достоверными..

В экспресс - съемке в течение менее двух часов было сделано 25 зондирования вдоль каньона от поверхности до дна океана, т. е. За 1/12 часть периода основной приливной гармонике. Следо-

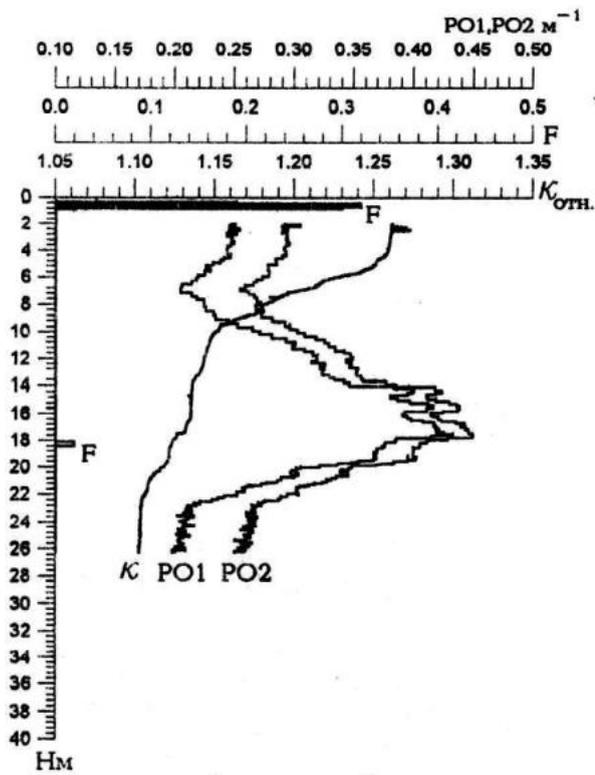
вательно, сформулированное требование выполнено.

Зондирования проводились на ходу судна прибором высокого разрешения МГИ 9201; при этом независимо друг от друга измерялись: распределение по вертикали электропроводности (К), спектральные показатели ослабления направленного света (мутность воды, т.е. величина, обратная прозрачности, позволяющая судить о концентрации взвеси в воде) в ультрафиолетовой (PO1) и инфракрасной (PO2) областях, а также флуоресценция (F); все с вертикальным разрешением не хуже 10 см. Применявшаяся методика измерений и одновременность данных PO1, PO2, F, К, получаемых независимо друг от друга, позволяют разделить биологически активную (живую), биологически пассивную (отмершие био-объекты) и терригенную взвеси, что, понятно, важно, тем более, что на мелководном шельфе Гвинеи количество последних велико.

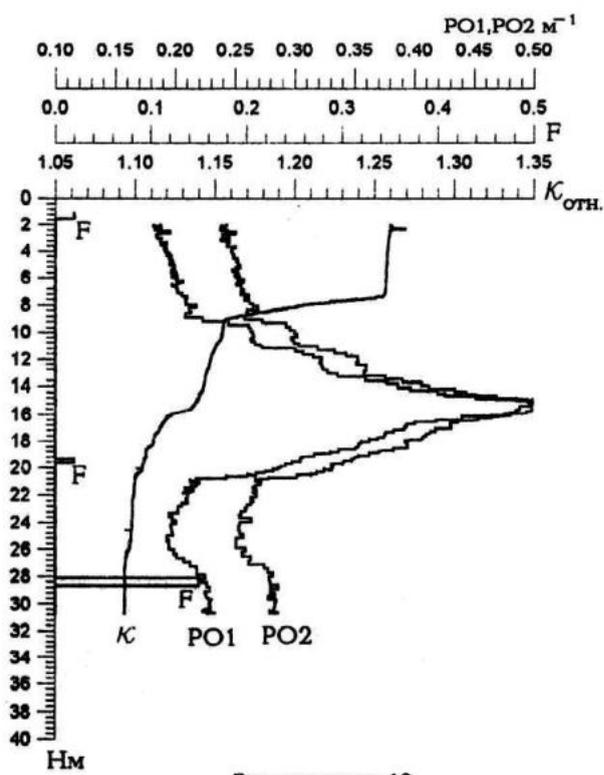
Таким образом, одновременные совместные и в то же время независимые измерения прозрачности в разных областях спектра морской воды и ее флуоресценции, реализованные в приборе МГИ 9201, позволяют оценить концентрацию взвеси и, главное, закономерность ее пространственного распределения и их особенности.

Конфигурация шельфовой области в районе каньона Конкуре представлена на рис. 2а.

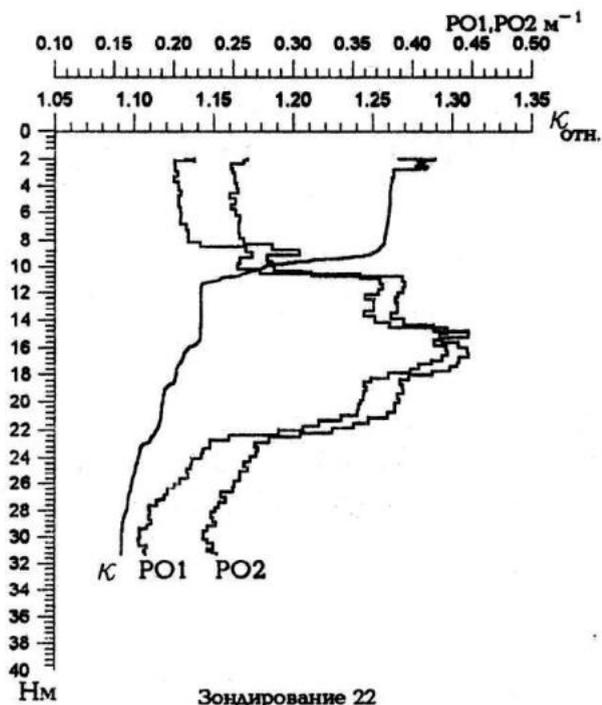
Результаты, представленные на рис. 4 и рис. 5, 6, отражающие распределение взвесей в реальности, оказались неожиданными, противоречащими представлению о том, что на мелководном шельфе, тем более не в мористой его части, подверженной приливно-отливным течениям, наиболее мутным должен быть придонный слой. В самом деле, казалось бы мощные приливно-отливные течения, сильно завихренные вблизи дна из-за изрезанного рельефа и вертикального сдвига скорости, должны поднимать с него взвесь и делать воды в



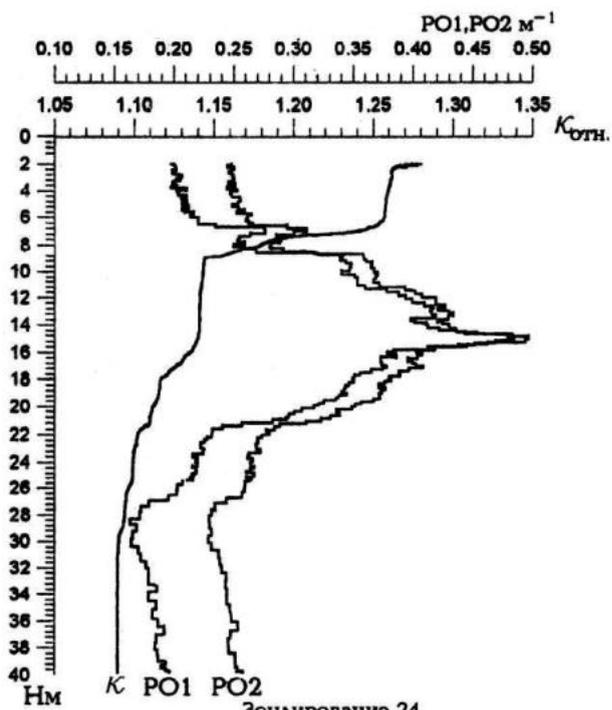
Зондирование 9



Зондирование 16



Зондирование 22



Зондирование 24

Рисунок 4 — Распределение по глубине в каньоне: К (безинерционной температуры); показателей ослабления света (PO1) — в инфракрасной, (PO2) — в ультрафиолетовой областях спектра; флуоресценции (F)

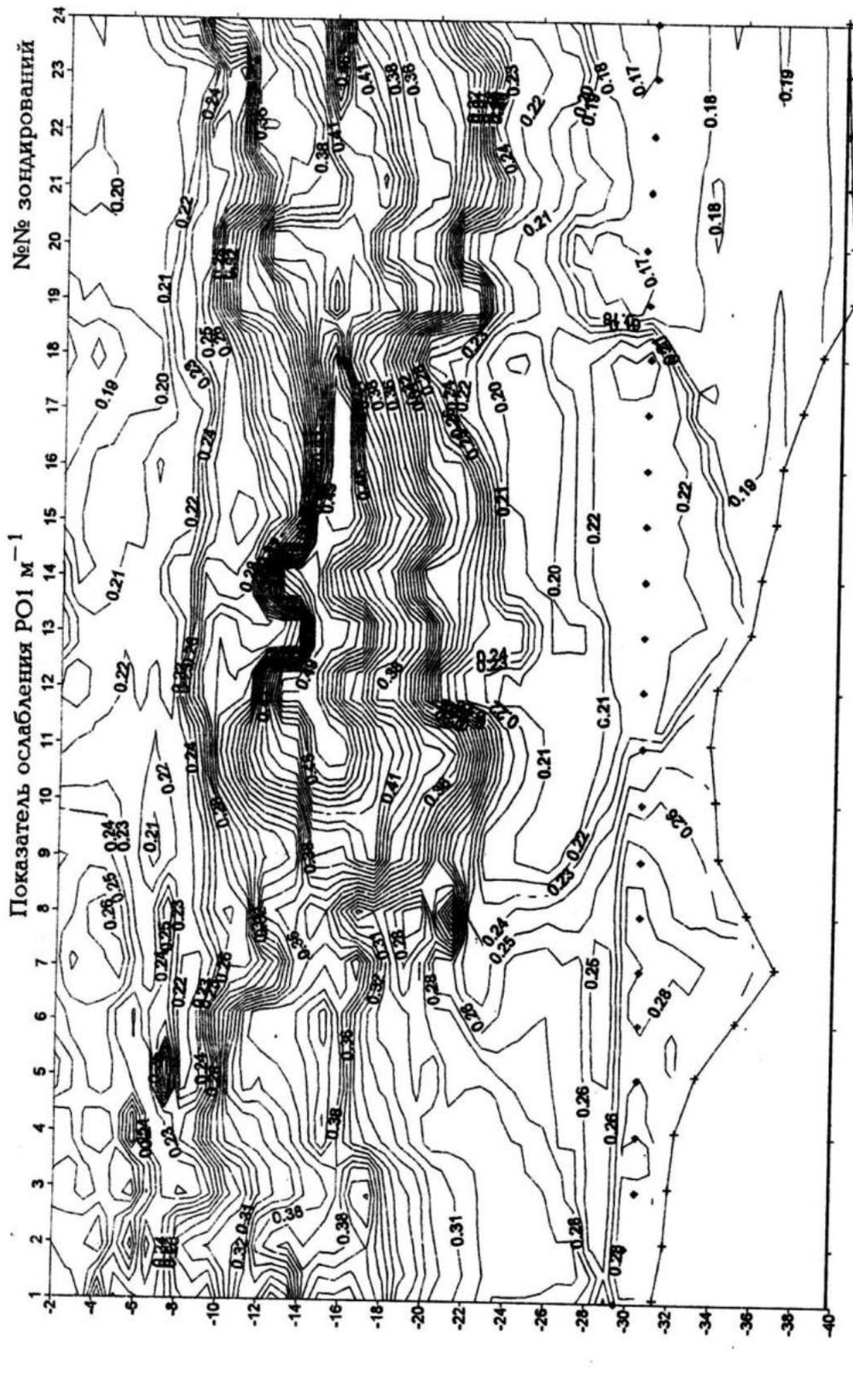
этом слое наименее прозрачными. Это кажется естественным, если учесть, что особенно нормальная к каньону составляющая скорости приливного движения, т.е. тангенциальная по отношению к берегу составляющая (см. систему координат в правом верхнем углу рисунка 1а, графики и оценки скорости, рис. 1б, 3а,б), пересекая в поперечном направлении каньон, будет возбуждать в нем вихри с продольными осями, взбаламучивать придонный слой воды. И даже во влажный сезон, при интенсивном выносе терригенной взвеси и ее оседании предположительно наибольшая концентрация должна располагаться над дном, а в период измерений (конец сухого сезона) при минимальном поступлении ее с суши - тем более, так как ее основной источник - поднятые со дна осадки. Однако измерения показали, что вдоль всего каньона показатели ослабления света как в ИК так и в УФ областях, т.е. "мутность" воды, имеют лишь незначительные относительные максимумы. Разрезы распределения взвеси вдоль каньона Конкуре представлены на рис. 5, 6; там же сверху указаны и номера зондирований. В нижней части рисунка крестиками показана глубина каньона Конкуре, а ромбиками - глубина шельфа вдоль каньона.

Видно, что ярко выраженной особенностью их является существование максимума взвеси, располагающегося в стратифицированной области непосредственно под скачком плотности. Причем, он существует на всех зондированиях (по которым построены разрезы) и максимальные его значения на них совпадают с большой степенью точности. Заметим, что значения  $K$  представлены в относительных единицах. Здесь не важны ее абсолютные величины, так как для физической интерпретации преследуемой нами цели имеет смысл лишь распределение электропроводности  $K$  (безинерционной температуры) по  $z$  и связь его с распределением взвеси.

Другими важными закономерностями зависимости  $PO_1$  и  $PO_2$  от глубины являются:

Во-первых, несмотря на то, что они регистрируются независимыми каналами, их функциональные от  $z$  распределения одинаковы. Это говорит о том, что концентрацию по вертикали крупных и мелких частиц взвеси обуславливает один и тот же механизм. И это - существенно. Далее, во всех случаях в поверхностном КОС она изменяется незначительно, увеличиваясь при приближении к скачку плотности, являющемуся границей, за которой следует резкое ее увеличение до абсолютного максимума. Затем, по мере дальнейшего заглубления, концентрация взвеси также быстро, практически симметрично относительно ее максимального значения, уменьшается. Распределение максимальной концентрации взвеси во всех случаях занимает стратифицированную зону и имеет куполообразный вид, похожий на шлем, лежащий на боку. Это общие особенности всех распределений. Но существуют также и другие, имеющие важное значение для интерпретации результатов и понимания динамики, управляющей движением примесей.

Так распределение взвеси в зондированиях 1-3, выполненных вблизи берега, в истоке каньона, рис. 5, 6, вплоть до самого дна имеет высокую концентрацию, в том числе и в придонном пограничном слое, отмеченном областью изотермии (участком с постоянной температурой высотой в несколько метров). Далее, при удалении от берега в сторону устья каньона (зондирования 7-17) максимумы становятся более выраженными и сосредоточенными в центральной части общей глубины, но их купол также остается в стратифицированном слое, а под ним является зона наименее замутненных вод, и при удалении от берега она становится все более прозрачной, так что на зондировании 7 в ее области прозрачность такая же как и на поверхности, а в области зондирования 9 вода



Н м

Рисунок 5 — профиль распределения в каньоне Конкуре показателя ослабления света (POI) в ультрафиолетовой области спектра

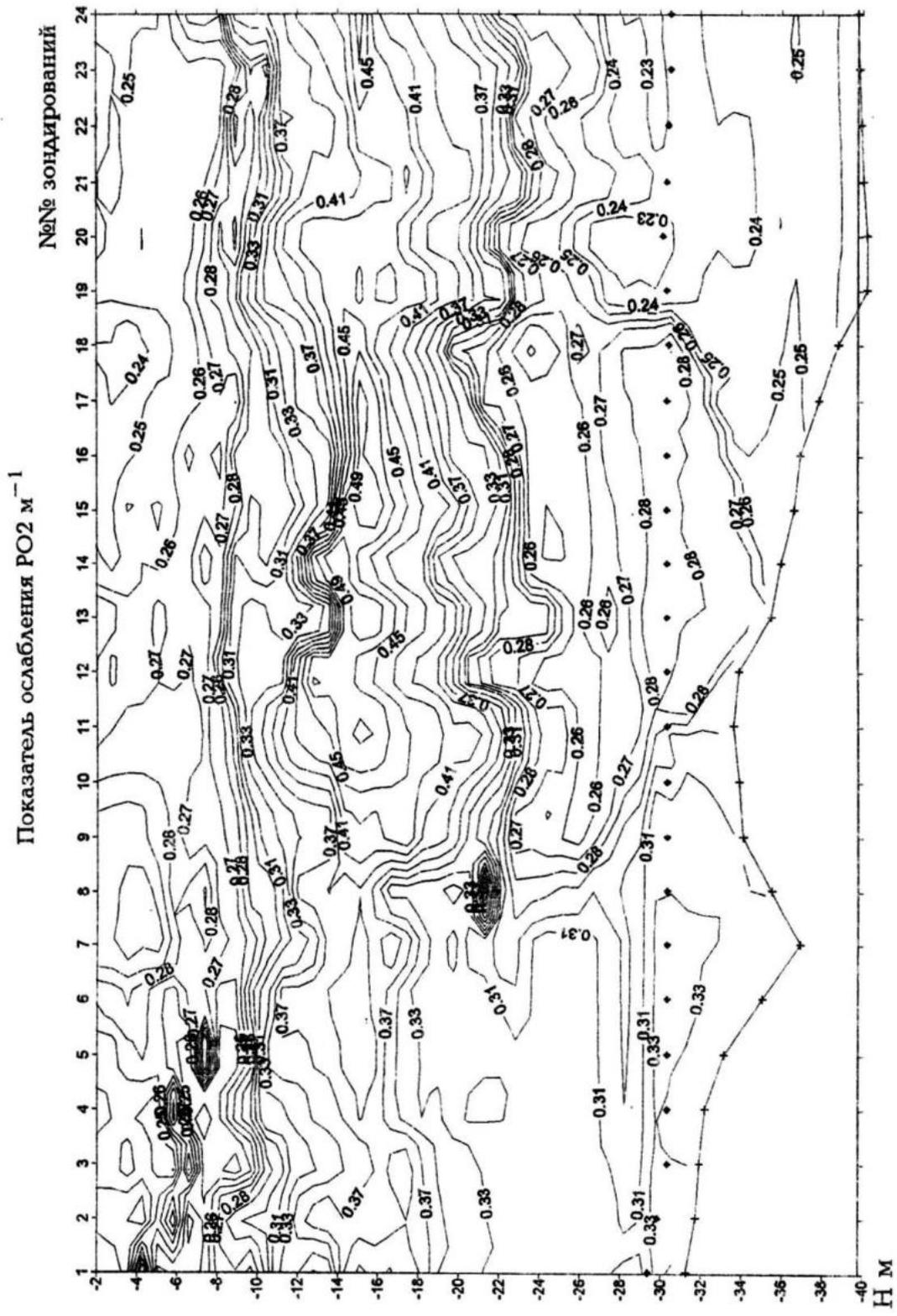


Рисунок 6 — профиль распределения в каньоне Конкуре показателя ослабления света ( $PO_2$ ) в инфракрасной области спектра

с глубины 25 м. даже прозрачнее, чем в приповерхностном квазиоднородном слое (!). При продвижении дальше в сторону открытого океана область придонной прозрачной воды, залегающей под слоем максимального содержания взвеси, увеличивается по глубине. Ее верхняя граница совпадает и даже превышает верхнюю границу изотермического придонного перемешанного слоя. Затем у дна, несмотря на то, что температура по вертикали не изменяется, да и соленость – тоже (см. рис. 2 б, в; 4), т.е. слой воды по гидрологическим характеристикам-перемешан, при приближении ко дну концентрация взвеси снова возрастает, что хорошо видно на зондированиях с 8 по 19. Причем, с возрастанием глубины увеличивается и слой прозрачной воды с медленно возрастающей ко дну концентрацией взвеси. – Это уже действует эффект взмучивания приливными течениями донных осадков [1]. И еще: чем более резкий, четко выраженный скачок температуры (плотности) под КОС, тем более резок, скачкообразен переход тут от прозрачных к мутным слоям воды.

Как можно проинтерпретировать все отмеченные выше особенности?

В самом деле, как показывают графики вертикального распределения  $K$  в каньоне Конкуре, рис. 4, скачок плотности не менее резок, чем в других областях шельфа, а разница между плотностью в КОС и ниже скачка достигает даже больших величин. Следовательно, он в приливной динамике также должен играть роль жидкой границы, разделяющей верхний и нижний слои, препятствующей обмену между ними и имеющей относительный минимум горизонтальных скоростей и вертикальных напряжений сдвига, как это показано в [1]. Поэтому приливной поток, имеющий максимальные скорости в слое над дном, будет поставлять здесь основную массу чистых глубинных вод открытого океана на шельф. По руслам каньонов, более глубоких, чем окру-

жающее их пространство, они должны поступать вплоть до прибрежной зоны. За счет сильного вертикального сдвига скорости в придонных слоях и более интенсивного вихревого движения в каньонах, воды открытого океана наиболее интенсивно будут перемешиваться с прибрежной водой в них, образуя квазиоднородный придонный слой, занимающий область высотой до десятков метров от дна и до нижней границы стратифицированного слоя, верхней частью которой является скачок плотности. Отлив из придонного перемешанного слоя, а так как вблизи берега последний переходит в прибрежный гомогенный слой, то и из него, будет отсасывать (здесь скорости снова максимальны) мутную перемешанную воду и, стало быть, - взвеси, вынося их в открытый океан, а, следовательно выполняя роль вентиляционного механизма. Несмотря на то, что он будет действовать на всем шельфе, но за счет проникающих до самого побережья глубинных вод в каньонах, особенно эффективно – в них.

В то же время, вследствие того, что скачок плотности играет роль жидкого барьера и при приближении к берегу выклинивается к поверхности, отделяя от чистой мористой части мутную прибрежную зону и одновременно придонный перемешанный слой, взвесь в приповерхностный квазиоднородный слой поступать практически не должна. Поэтому-то, как и демонстрируют рис. 4 и 5,6, КОС в несколько раз прозрачнее, чем лежащий под ним стратифицированный слой. Ниже же КОС, как показано в [1], располагается область, имеющая минимум напряжений и горизонтальных скоростей, и, как следствие, в ней будет слабое перемешивание и отсос (вынос) примесей, а следовательно, вентиляция вод. А так как эта область, хотя и в меньшей степени, чем скачок плотности, стратифицирована, см. рис. 4, то в результате всех этих причин и возникают неоднородность и максимум

концентрации взвесей в стратифицированном слое под скачком плотности.

В заключение отметим, что представленные результаты демонстрируют возможности новых методологий (новых гипотез и измерительных средств высокого разрешения) в изучении специфических, сложных и высокодинамичных регионов, какими являются шельфовые и прибрежные зоны морей и океанов.

#### Литература

1. Дворянинов Г.С., Карнаушенко Н.Н. Явления на шельфе, связанные с приливами и каньонами (шельф Гвинеи) // МГИ НАНУ. Препринт.-Севастополь.-2000.-48 с.

2. Булгаков Н.П., Безбородов А.А., Овсяный Е.И., Камара С. Фронтальные и барьерные зоны океана. Прибрежная фронтальная зона на шельфе Гвинеи. // МГИ НАНУ. Препринт.-Севастополь.-1987.-55 с.

3. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Ива-

нов Л.И., Кейта И.К., Плотников В.А. особенности приливных движений у шельфа Гвинеи // МГЖ.-1989.-№2.-С. 45-51.

4. Тропическая Атлантика. Регион Гвинеи. // Киев: Наук. думка.-1988.-410 с.

5. Андриющенко А.Л., Тимченко И.Е. Численная динамико-стохастическая модель шельфовой зоны океана // Препринт.-Конакри.-1991.-74 с.

6. Поляничев В.Ю., Тимченко И.Е., Ярин В.Д. Контроль характеристик верхнего слоя океана на основе динамико-стохастической модели // Конакри.-1991.-44 с.

7. Еремеева Л.В., Безбородов А.А., Емельянова О.В. Влияние фронтальных зон на биохимию шельфа Гвинеи // МГЖ.-1989.-№ 6.-С. 48-54.

8. Отчеты Научно - Исследовательского центра РОГБАНе - Конакри за 1982-1991 гг.

9. Безбородов А.А. и др. Атлас гидрохимических характеристик северо-восточной зоны Тропической Атлантики // Киев: Наук. думка.-1988.-75 с.

**К ВОПРОСУ МЕТОДИКИ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В  
ЗОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ СУШИ И МОРЯ**

**Ю.П. Ломанов, В.В. Питеряков**  
Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Гидрофизические исследования являются частью геоэкологического мониторинга зоны сопряжения суши и моря (ЗССМ). Цель гидрофизических исследований: получение количественных характеристик, моделей и прогнозных оценок горизонтального и вертикального распространения и трансформации загрязняющих веществ, поступающих в прибрежную зону моря с береговыми стоками и атмосферными осадками.

Основные задачи гидрофизических исследований:

- исследование фоновых гидрологических характеристик крупномасштабной термохалинной структуры, плотностной стратификации вод, поля скоростей течений,
- исследование пространственно-временных характеристик тонкой структуры (ТС) и микроструктуры (МС) гидрофизических полей, их связи с крупномасштабными фоновыми гидрологическими условиями, районирование исследуемых акваторий по свойствам ТС и МС,
- исследование пространственно-временных характеристик короткопериодных внутренних волн (КВВ), их связи с полем скоростей течений и плотностной стратификацией,
- исследование характеристик макро- и мелкомасштабной турбулентности, их связи с КВВ, полем скоростей течений, ТС и МС гидрофизических полей,
- исследование трехмерной тонкой структуры фронтальных зон (речного стока, вихревых образований, систем течений и др.), интрузионного расслоения фронтальных зон.

Турбулентность и внутренние волны играют важнейшую роль в динамике и термике морей, представляя те процессы, которые в основном ответственны за изменчивость морей в области малых масштабов, вертикальное перемешивание вод, перенос и трансформацию различных видов энергии и, наконец, определяют стоки и диссипацию кинетической энергии движений более крупных масштабов.

Внутренние волны являются одним из основных источников энергии турбулентности, механизмы генерации которой, по-видимому, связаны, главным образом, с явлением локальной гидродинамической неустойчивости. Оба вида движений в значительной степени зависят от локальных условий стратификации среды - средних гидрологических характеристик и тонкой вертикальной структуры гидрофизических полей и, в свою очередь, активно участвуют в формировании мелкомасштабной пространственно-временной структуры моря.

Комплексные исследования турбулентности, внутренних волн и тонкой вертикальной структуры моря необходимы для понимания механизмов, управляющих процессами вертикального обмена энергией, массой, теплом через термоклин, формированием теплозапаса верхнего деятельного слоя моря и его изменчивости в связи с проблемой взаимодействия моря и атмосферы для разработки соответствующих физических моделей.

Для задач исследования пространственной и временной изменчивости ТС и КВВ наиболее целесообразным является использование зондирующих приборов и (или) многогоризонтных гирлянд измерителей гидрофизических параметров.

Гирлянды разнесенных по глубине измерителей температуры используются в исследованиях океана с начала шестидесятых годов. В гирляндах могут быть применены как точечные измерительные элементы, так и измерительные элементы, распределенные по вертикали опре-

деленным образом. Гирлянды могут буксироваться за судном, вывешиваться с дрейфующего судна или с неподвижной платформы, выставляться на автономных или дрейфующих буйковых станциях.

Для ряда задач, например, при изучении формирования квазигомогенных пятен и тонкой структуры, вертикального обмена, волновых деформаций стратификации необходима установка измерительной гирлянды на заякоренном или свободно дрейфующем бую. Применение такой гирлянды позволяет проследить внутреннюю структуру высокоградиентных прослоек, деформацию этих прослоек КВВ, последовательное разрушение частей прослойки при обрушении внутренней волны и формирования новой высокоградиентной прослойки. С помощью гирлянд можно измерять амплитуды КВВ, проводить оценку частот КВВ, измерять тонкую структуру температурной стратификации и ее деформацию при прохождении волн различных масштабов.

Присутствие мезомасштабных волн приводит к требованию, чтобы гирлянда была достаточно протяженной по вертикали и имела достаточно большое количество измерителей. Из-за технических сложностей изготовить такие гирлянды трудно. Поэтому используются частые зондирования измерительными комплексами до необходимой глубины.

Для Черного моря в летний период характерна приблизительно такая стратификация температуры в верхнем слое, какой она показана на рис. 1, а, б, в, г. Глубина залегания термоклина изменяется при прохождении внутренних волн. Здесь виден сравнительно резкий переход от верхнего перемешанного слоя к стратифицированному по температуре (плотности, солености) термоклину. Само по себе отдельное зондирование, конечно, представляет интерес, но для непосредственного измерения параметров внутренних волн, для экспериментальной оценки их модального состава,

для теоретических расчетов волнового состава или, например, для изучения вертикального обмена и т.д. большой интерес представляет совокупность зондирований и, далее, определенным образом обобщенные (средние) характеристики стратификации и относительные вариации распределения температуры (солености, плотности) в отдельных зондированиях.

Какие обобщенные (средние) характеристики целесообразно применять для этих целей? По большей части, за основу берется среднее распределение температуры (солености, плотности) по глубине  $\bar{T}(Z)$  и отклонения  $T_i(Z) - \bar{T}(Z)$ .

Осредним показанные на рис. 1, а, б, в, г профили (пусть для определенности здесь и далее это будут профили температуры) и в результате получим осредненный профиль, который показан на рис. 1, д

и, который принципиально не похож ни на один из индивидуальных профилей.

На наш взгляд это методически неудачное осреднение. Соответственно, методические погрешности содержат и все отклонения  $T_i(Z) - \bar{T}(Z)$  и, чем больше амплитуда колебаний верхней границы термоклина, тем больше ошибки. Такие погрешности могут быть не существенными для расчета волн низкой моды, но в целом такая методика осреднения существенно обедняет экспериментальный материал. Так, например, они затрудняют теоретическую и экспериментальную оценку волн высокой моды и делают полностью ошибочной оценку вертикального молекулярного потока тепла. Так как для стратификации в море характерна слоистая структура, то рассмотренное осреднение вносит существенную погрешность повсеместно.

Физически более содержательно находить не среднюю температуру  $\bar{T}$  на заданной глубине  $Z$ , а, наоборот, находить среднюю глубину  $\bar{Z}$  залегания

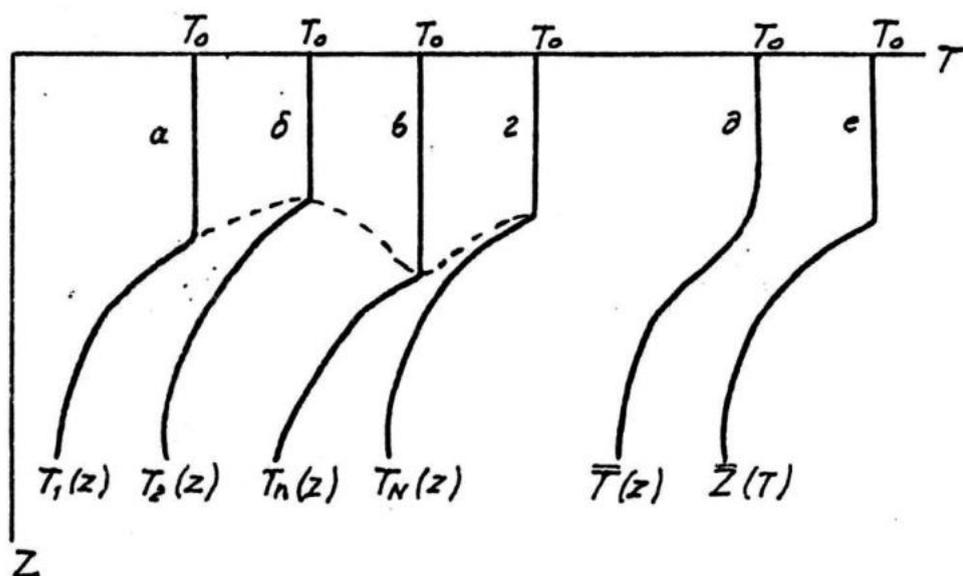


Рис. 1.  $T_1, T_2, T_n, T_N$  - характерные профили верхнего однородного слоя и сезонного термоклина в летний период в Черном море. Средний профиль  $\bar{T}(Z)$  качественно отличается от индивидуальных профилей, тогда как средний профиль  $\bar{Z}(T)$  хорошо отражает особенности отдельных профилей.

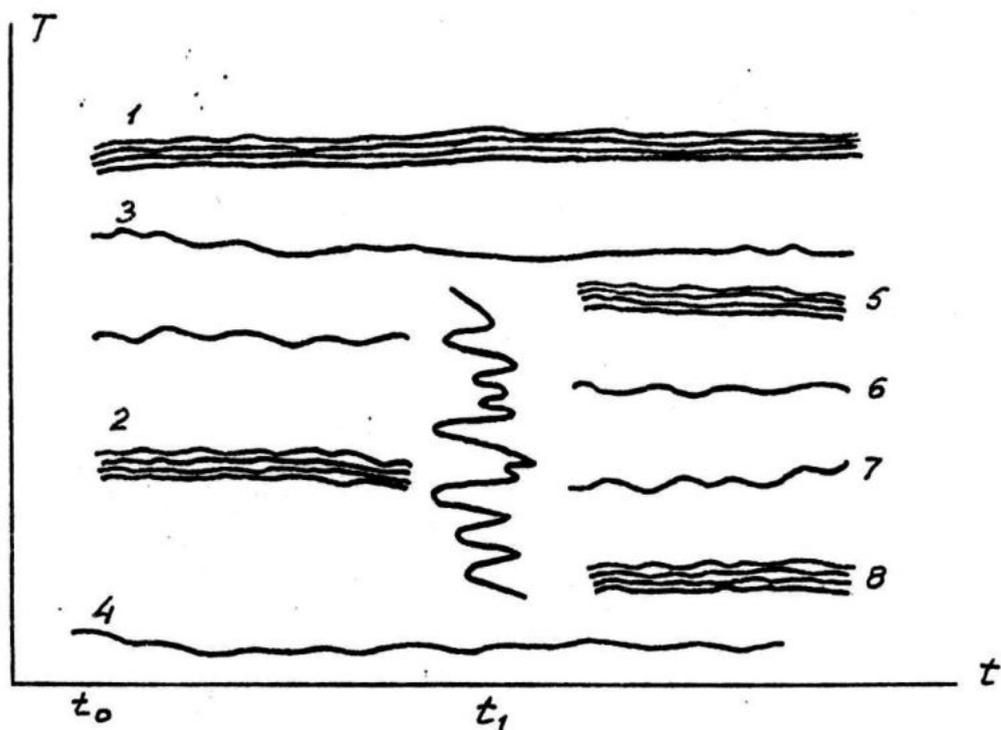


Рис. 2. Схема локального переформирования стратификации температуры при  $t > t_1$ . Сравнение распределения изотерм в исходной (1, 2, 3, 4) и новой стратификации (5, 6, 7, 8) позволяет оценить вертикальное перемешивание.

наперед заданных, заданных еще до начала эксперимента, изотерм  $T_i = T_0 - i \Delta T$ , следовательно, вместо осреднения  $\bar{T}(Z_i)$  производить осреднение

$$\bar{Z}(T_i = T_0 - i \Delta T), \quad (1)$$

где  $\Delta T$  - также наперед заданная постоянная величина.

При зондировании в результате дискретных отсчетов получается набор значений температуры  $\{T_k\}$ , который может совсем не совпадать с заданным набором  $T_i$  (1). Такое же несоответствие получается при измерениях гирляндой измерителей температуры.

Рассмотрим методику представления и обработки результатов измерений с помощью зондирующих приборов или многогоризонтной гирлянды измерителей.

По точечной совокупности результатов измерений  $\{T_k, Z_k\}$  в зондировании строится непрерывный кусочно-линейный профиль  $T(z)$ , проходящий через точки измерения. На этом профиле присутствуют уже все температуры.

Из этого профиля выбираются значения температуры (1) и соответствующие им глубины  $z_i$ . Совокупность пар чисел

$$\{T_i = T_0 - i \Delta T, Z_{ni}\}; \quad n = 1, 2, \dots, N, \\ i = 0, 1, 2, \dots, I; \quad (2)$$

при фиксированном  $n$  рассматривается как столбец, отображающий результаты одного зондирования с номером  $n$ ; серия зондирований образует таблицу (2). Для того, чтобы дальнейшее применение таблицы было удобным,  $T_0$  выбирается таким образом, чтобы оно присутствовало во всех зондированиях. Таким образом,  $T_0$  -наибольшая из общих для всех зондирований температура (желательно, хотя это и не обязательно, чтобы  $T_0$  было кратным

$\Delta T : T_0 - n_0 \Delta T$ ). Наибольший номер  $i_{max} = I$  выбирается таким образом, чтобы  $T_i = T_0 - I \Delta T$  было наименьшей температурой из общих для всех зондирований температур  $T_0 - i \Delta T$ . Выбор  $T_0$  и  $I$  мы называем выделением наибольшего фи-

зического слоя. С учетом того, что абсолютная температура измеряется с погрешностью  $\pm 0,05^\circ\text{C}$  мы выбирали, как правило, минимальное приращение  $\Delta T = 0,2^\circ\text{C}$ . Перечисленные процедуры предусмотрены программой, входными данными для которой служат первичные результаты измерений (при этом в действительности кусочно-линейной профиль не строится, вместо этого по формулам и экспериментальным данным находятся только значения  $Z_{in}$  для заданных температур  $T_i$ ).

Пусть таблица (2) построена, подведем предварительный итог: каждая строка матрицы (2) показывает колебания той или другой изотермы в ходе зондирования; осреднение вдоль строки дает среднее положение изотермы; столбец осредненных таким образом строк дает средний профиль; индивидуальные профили дают столбцы с номерами  $n$ ; средний профиль (рис.1,е) качественно похож на индивидуальные (рис.1,а,б,в) и отличается от них тем, что не содержит кинематических эффектов.

Взаимная корреляция между строками может служить для исследования модального состава внутренних волн и других целей. Возможно построение и других функций, в том числе взаимных со сдвигами по вертикали (по строкам) и по горизонтали (по столбцам) по усмотрению потребителя. Однако такие исследования имеют больше смысла в случае измерения гирляндой, так как зондирования производятся слишком редко, в случайных точках по отношению к среде и не одновременно по глубине.

Перейдем к формализации случаев стратификации с инверсиями. Уточним, что здесь речь идет об инверсиях исследуемого параметра, что не всегда соответствует инверсиям плотности, однако, исследуемым параметром может быть и плотность. В случае с инверсиями приращения температуры с ростом глубины могут быть как положительными, так и отрицательными, поэтому индексация (2) оказывается недостаточной. Обоб-

щим индексацию (2) на случай с инверсиями. Условимся считать, что

$p$  - как и раньше, номер зондирования или номер измерений с помощью гирлянды;

$m$  - номер строки в таблице, наибольший номер строки  $M_n$  зависит от номера зондирования  $p$ , так как количество и амплитуда инверсий в различных зондированиях может быть разной;

$i$  - индекс, определяющий температуру.

Таблицу серии зондирований можно обозначить как

$$\{T_{nm} = T_0 - i\Delta T, Z_{nmi}\}, \quad (3)$$

где индексы  $n$  и  $m$  - это порядковые номера; индекс  $i$  - это не порядковый номер, а результат измерения температуры в зондировании с номером  $p$ . Обозначение таблицы (3) можно упростить до

$$\{Z_{nmi}\} \quad (3.1)$$

Каждый элемент ( $nm$ ) реальной таблицы (3) содержит пару чисел - температуру и глубину.

На основании таблицы (3), для удобства исследования кинематических деформаций, строится аналог таблицы (2). Для этого вводится несколько условностей. В столбце таблицы (3) одна и та же температура  $T_0 - i\Delta T$  может повторяться несколько раз. Основной изотермой  $T_0 - i\Delta T$  серии зондирований считается та, которая соответствует наибольшему номерам строк  $m$  при фиксированном  $i$ . Наблюдаемым физическим слоем считается слой, ограниченный основными изотермами. Наибольший наблюдаемый физический слой ограничен основными изотермами с наибольшим и наименьшим индексами  $i$ , общими для всех зондирований. Кинематическая матрица

$$\{T_i = T_0 - i\Delta T; Z_{ni}; k\} \quad (2.1)$$

содержит только основные изотермы и отличаются от таблицы (2) параметром  $k$ , который показывают число повторов изотермы  $T_i$  в столбце  $p$  таблицы (3). Для удобства в матрице (2.1) вводится своя нумерация строк ( $i$ ). Если потребителю

таблицы (2.1) нужны какие-то данные из таблицы (3), то обращение к таблице (3) может производиться по индексам  $p$  и  $i$  общим для таблиц (2.1) и (3). Указание числа ( $k$ ) повторов изотерм позволяет легко для исследования кинематических деформаций выделить физический слой без инверсий ( $k=1$ ). Если обрушения волн (инверсии) повторяются не слишком часто, то для оценочного исследования кинематических деформаций можно применять всю таблицу (2.1).

Изложенная форма представления результатов зондирований удобна также для экспериментального исследования вертикального обмена по результатам измерений с помощью гирлянды. Проиллюстрируем это на условном примере (рис. 2), который выбран предельно благоприятным для интерпретации. По горизонтальной оси показано время  $t$ , по вертикальной оси отложена температура. На рисунке показаны изотермы: (1) и (2) - начальные высокоградиентные прослойки. Гирлянда предполагается достаточно протяженной по вертикали для того, чтобы пересечь несколько высокоградиентных прослоек, и снабженной достаточно большим количеством измерителей для того, чтобы выявить структуру стратификации. В момент времени  $t_1$  происходит обрушение волн (которые здесь для простоты не показаны) или перемешивание по другим причинам. Затем через некоторое время (это могут быть не только минуты, но и часы) устанавливается новая стратификация с высокоградиентными прослойками (3) и (4) на границах перемешанной области. Если есть такие результаты в большом количестве, то можно определить частоту появления и вертикальный масштаб переформирования стратификации, а также, благодаря присутствию изотерм (5), (6), (7) и (8), коэффициент перемешивания, что уже является прямым измерением вертикального обмена.

В заключение продемонстрируем применение изложенной методики измерения с помощью гирлянды (рис.3).

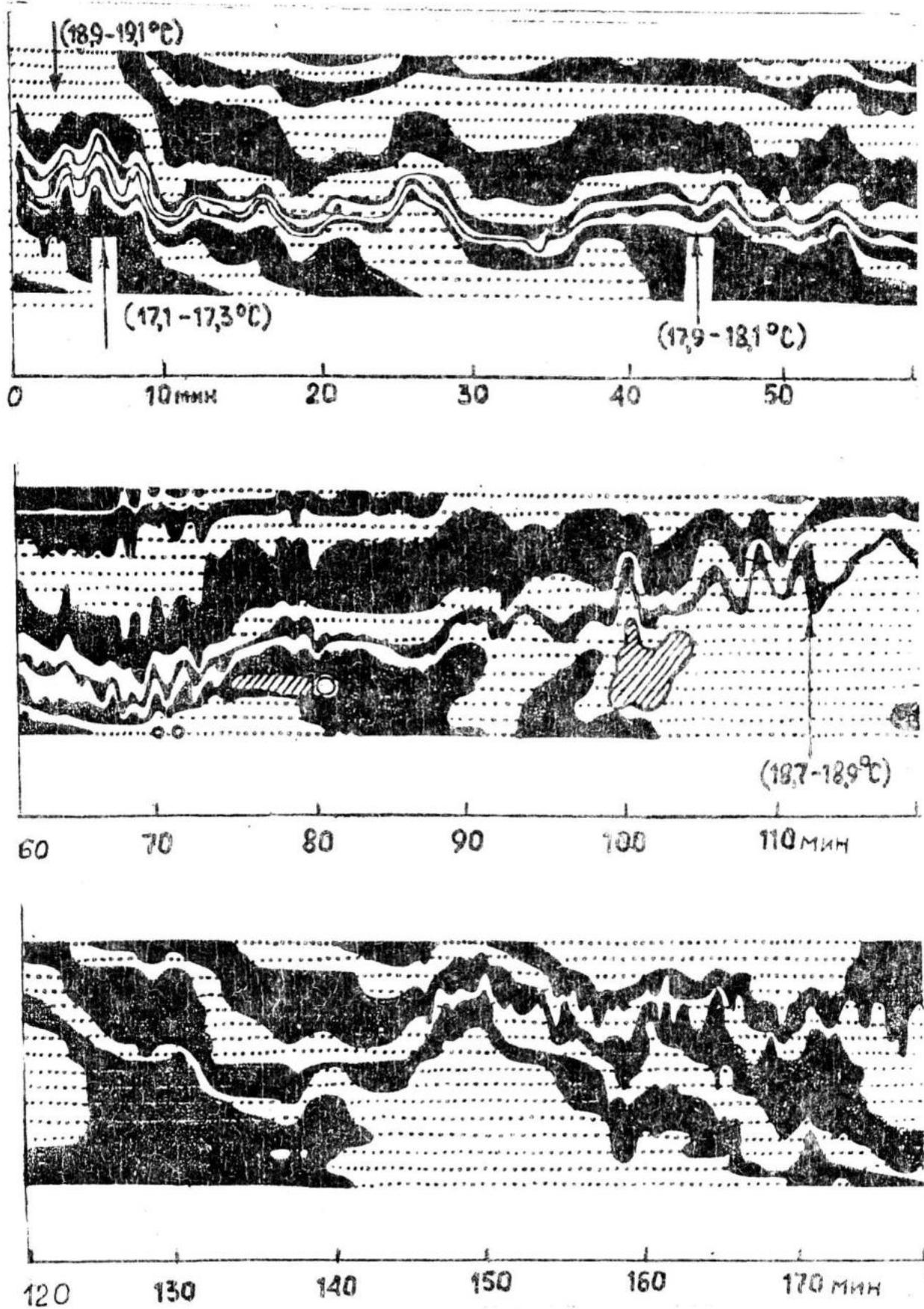


Рис. 3. Эволюция термоклина по данным гирлянды приборов "ГРАДИЕНТ"  
Изменение температуры в каждой одноцветной области составляет  $0.2^{\circ}\text{C}$ .

Гирлянда была установлена на приотпленной свободно дрейфующей буйковой станции, снабжена 17 измерителями температуры "ГРАДИЕНТ", отстоящими по вертикали на 0,43 м друг от друга и находящимися на глубине от 55 до 61,5 м (вертикальный размер гирлянды несколько больше 6,5 м). Эксперимент выполнялся в Средиземном море, измерения проводились синхронно на всех горизонтах через каждые 15 с. На рисунке по вертикали отложена глубина, горизонтальные пунктирные линии показывают положение измерителей; горизонтальная ось интерпретируется как время. На рис.3 представлены изменения, происходившие в слое в течение трех часов. Затемненные и светлые полосы на рисунке разграничены изотермами, отстоящими друг от друга на  $0,2^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T = 0,2^{\circ}\text{C}$ ), так что перепад температуры в каждой полосе, светлой или темной, составляет  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

В средней части рисунка видна высокоградиентная прослойка, перепад температуры в которой сначала достигает  $1,4^{\circ}\text{C}$  (средний градиент больше  $1^{\circ}\text{C м}^{-1}$ ), затем высокоградиентная прослойка деградирует: от нее последовательно отслаиваются снизу и перемешиваются с окружающей средой все новые и новые

микрослои. Кое-где видны инверсии, представляющие собой изолированные области (заштриховано) или "языки". Наблюдается сложная система вертикальных колебаний. Прослеживая вертикальное перемещение отдельных прослоек, можно предположить присутствие волны с видимым периодом порядка 2 часов и высотой 2-3 м. В начальное время видны короткопериодные колебания с периодом около 5 мин, высотой 1-1,5 м; они прослеживаются и в дальнейшем, но нередко короткопериодные изгибы прослоек скорее похожи на отрывающиеся капли или начинающиеся струи, которые, возможно, сопровождают разрушение этих самых волн. Видны также изменения толщины малоградиентных прослоек, похожие на кинематические обратимые деформации.

Приведенная иллюстрация показывает, что применение гирлянды измерителей и предложенная методика анализа дает ряд преимуществ при исследованиях вертикального обмена и процессов формирования тонкой слоистой стратификации.

**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ  
ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ  
УГРУПОВАНЬ ВОДЯНИХ РОСЛИН ГИРЛА  
ДУНАЮ**

**Л.Я. Сіренко, Е.Л. Звенигородський**  
Інститут гідробіології НАН України,  
м. Київ, пр. Героїв Сталінграду, 12

Проблема обробки даних моніторингу угруповань водяних рослин, які є основною трофічною, середовищеутворюючою та індикаторною ланкою у відповідних екосистемах, на сьогоднішній день становить неабиякий інтерес для спеціалістів [1]. Нами була розроблена й апробована на прикладі рослин гирла Дунаю математична модель та відповідна комп'ютерна програма комплексного аналізу екологічного стану угруповань водяних рослин.

Модель комплексного аналізу даних про структуру та екологічний стан угруповань водяних рослин гирла р. Дунай описувалася наступною матрицею парних порівнянь:

	AB <sub>1</sub>	AB <sub>2</sub>	...	AB <sub>n</sub>
AB <sub>1</sub>	1	p <sub>12</sub>	...	p <sub>1n</sub>
AB <sub>2</sub>	p <sub>21</sub>	1	...	p <sub>2n</sub>
...	...	...	...	...
AB <sub>n</sub>	p <sub>n1</sub>	p <sub>n2</sub>	...	1

де p<sub>ij</sub> – бальна експертна оцінка переваги об'єкта AB<sub>i</sub> над об'єктом AB<sub>j</sub>.

При складанні матриці парних порівнянь в якості об'єктів AB<sub>1</sub>, AB<sub>2</sub>, ... AB<sub>n</sub> були обрані ділянки гирла Дунаю з характерними для них комплексами асоціацій водяних рослин. Порівняння проводилося за певним наперед заданим критерієм. Порівнювались між собою водні об'єкти з характерними для них угрупованнями водяних рослин та гідрохімічними показниками. При цьому структура угруповань аналізувалася методами проведеного нами кластерного аналізу [2], а гідрохімічні показники – з використанням побудованої нами бази знань та експертної системи [3]. Теорія розмитих множин (Л.Заде, 1965) дає наступне значення рейтингу кожного

окремого об'єкту AB<sub>i</sub>:

$$\mu(AB_i) = 1 / (p_{i1} + p_{i2} + p_{i3} + \dots + p_{in}) \quad (1)$$

Розроблений нами метод критеріальних оцінок передбачав виявлення рейтингів кожного об'єкту за обраним критерієм і ранжування об'єктів у порядку зменшення значень їх рейтингів. Алгоритм включав наступні кроки: визначення сукупності водних об'єктів AB<sub>1</sub>-AB<sub>n</sub>; формування критерію, за яким буде проведено комплексний аналіз і побудована матриця порівнянь; обчислення рейтингів та ранжування об'єктів AB<sub>1</sub>-AB<sub>n</sub> з використанням формули (1).

Окремим випадком рейтингового ранжування слід вважати запропонований нами оригінальний метод аналізу динаміки змін стану екосистем. Ідея даного методу полягала в тому, що для парних порівнянь беруться не окремі об'єкти AB<sub>i</sub>, а один і той же об'єкт у різні моменти часу. В результаті є можливість отримувати картину розвитку у часі відповідності водного об'єкту різноманітним критеріям. На нашу думку, внаслідок більшої адекватності опису природних явищ засобами теорії розмитих множин у порівнянні з традиційними методами, запропонований нами метод аналізу динаміки екосистем є більш інформативним, ніж традиційні методи (часових рядів, матриць Маркова та ін.).

Таким чином, було вирішено завдання поєднання окремих ланок дистанційного моніторингу в рамках єдиної математичної теорії розмитих множин.

Комплексним критерієм для дунайської гирлової ділянки була обрана природоохоронна цінність територіальних одиниць водяної рослинності, яка, згідно з наявною класифікацією (Дубына Д.В., Гейны С. и др., 1993), складалася з 3 ознак (у порядку важливості): 1) кількість асоціацій видів макрофітів ділянки, що занесені у Червону книгу України; 2) кількість асоціацій декоративних видів; 3) загальне число асоціацій. Відповідні рейтинги наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1.** Рейтинги природоохоронної цінності комплексів рослинних асоціацій гирла р. Дунай (послідовність комплексів відповідає зменшенню їх природоохоронної цінності)

Комплекс	Географічні ділянки	Рейтинг
ІЖАЧА ГОЛІВКА/ГОРІХ	ДЕЛЮКОВ, РИБАЧИЙ, АНАНЬКІН, ЦИГАНКА, ПОТАПОВ РУКАВ	0,444
ЛАТАТТЯ/ВОДОПЕРИЦЯ	ДЕЛЮКОВ, АНАНЬКІН	0,140
РОГОЗОВИЙ РЯД*	СОЛОНІЙ, ТАРАНОВ, ДЕЛЮКОВ, РИБАЧИЙ, ПОТАПОВСЬКИЙ, АНАНЬКІН, ЦИГАНКА, ЛАЗОРКІН	0,072
ГОРІХ/ПЛАВУН	АНАНЬКІН, ЦИГАНКА	0,032
КОМИШОВИЙ*	СОЛОНІЙ, ШАБОШ, ПЕРЕБОЇНА, ТАРАНОВ, АНАНЬКІН	0,023
ЛАТАТТЯ/ГОРІХ/КУШИР	ЛАЗОРКІН	0,017
ОЧЕРЕТ/КУШИР	АНАНЬКІН, ЛАЗОРКІН (НИЖНІЙ)	0,017
ДОМІНУВАННЯ РДЕСНИКА ПРОНИЗАНОЛИСТОГО*	СОЛОНІЙ, ТАРАНОВ, ДЕЛЮКОВ, ПОТАПОВ РУКАВ	0,013
ОЧЕРЕТ/РОГІЗ	ПЕРЕБОЇНА, ТАРАНОВ	0,012
ВОДОПЕРИЦЯ/ХАРА**	ПЕРЕБОЇНА, ЛАЗОРКІН (ЦЕНТР)	0,008
ВОДОПЕРИЦЯ/РДЕСНИК	СОЛОНІЙ (ЦЕНТР), ШАБОШ (ЦЕНТР), ТАРАНОВ, ДЕЛЮКОВ	0,008
РІЗУХОВИЙ*	РИБАЧИЙ, ПОТАПОВСЬКИЙ (ЦЕНТР)	0,007
РДЕСНИК/КАМКА/ЦАНИКЕЛІЯ	СОЛОНІЙ (УЗБЕРЕЖЖЯ), ШАБОШ (УЗБЕРЕЖЖЯ)	0,006

\* – монодомінантні зарості;

\*\* – макроскопічна зелена водорість з класу Charophyceae, яка розвивається на літоралі в заростях вищих водних рослин.

В ході проведеного нами рейтингового критеріального аналізу у відповідності із розробленим алгоритмом було виявлено, що найціннішими виявилися ділянки заток *Делюков*, *Рибачий*, *Ананькін*, *Циганка* та у *Потаповому рукаві*. Це обумовлено наявністю в цих місцях видів *Trapa natans L.*, *Nymphaea alba L.*, *Nuphar lutea (L.) Smith.* та ін., а також високою загальною кількістю рослинних асоціацій на означених ділянках. Тобто, оптимальне поєднання таких факторів, як кількість асоціацій рідкісних та декоративних видів, загальна кількість асоціацій обумовили найбільшу цінність вказаних ділянок. Угрупування, що відносяться переважно до 2 комплексів (іжача голівка та водяний горіх), складають основу домінуючого тут килимового типу заростання.

Загалом, результати проведеного нами ранжування природоохоронної цінності ділянок гирла р. Дунай, одержані на підставі нетрадиційних для гідробіології підходів теорії розмитих множин, збігаються з експертними оцінками, виконаними традиційними метода-

ми, й можуть бути використані в галузі природоохоронного районування та інвентаризації ресурсів. Справа в тому, що на їх одержання було витрачено на порядок менше часу при збільшенні достовірності отриманих показників.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сиренко Л.А., Звенигородский Э.Л. Усовершенствование обработки информации дистанционного мониторинга водных объектов с помощью методов и алгоритмов нечеткой логики // Системы контроля окружающей среды. Сб. научн. трудов.- Севастополь: МГИ НАНУ.-1998.- С. 174-177.
2. Звенигородский Э.Л., Ротштейн А.П., Дьяченко Т.Н. и др. Кластерный анализ иерархии структур пространственных единиц водных макрофитов // Гидробиол. журн.-1997.-Т. 33, № 2.-С. 94-103.
3. Федоровский А.Д., Сиренко Л.А., Звенигородский Э.Л. и др. Оценка экологического состояния водоемов с использованием космической информации // Космична наука і технологія.-1996.-Т. 2, №5-6.- С. 103-106.

**ТРИДЦАТИЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ  
АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ  
РАДИОАКТИВНЫХ ПРОДУКТОВ  
В СИСТЕМЕ  
ГИДРОМЕТЕОНАБЛЮДЕНИЙ  
ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА**

Т.В. Чудиновских, А.С. Запелалов  
\*Л.В. Салтыкова, \*А.И. Рябинин  
Морской гидрофизический институт  
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net

\*Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института  
г. Севастополь, ул. Советская, 61

По данным Всемирной метеорологической организации атмосфера является одним из основных источников поступления загрязняющих веществ в воды Мирового океана. Расширение исследований в области трансграничного переноса позволило оценить долю атмосферных выпадений в общем объеме источников загрязнения морей [1]. Отмечено, что объем поступления токсикантов из атмосферы для внутренних морей типа Черного сопоставим с объемом, поступающим с речным стоком. Черное море, имеющее важное рекреационное и рыбохозяйственное значение, не входит в перечень регионов, для которых получена надежная информация об атмосферных потоках антропогенных загрязнителей: нефтяных и хлорированных углеводородов, детергентов, тяжелых металлов, радионуклидов и т.п. Имеются лишь эпизодические наблюдения за химическим составом атмосферных выпадений [2].

Исключением являются радиоактивные компоненты загрязняющих веществ, наблюдения за потоком которых из атмосферы осуществлялись в Азово-Черноморском регионе в течение длительного периода Севастопольским отделением ГОИНа (ныне МО УкрНИГМИ). Отбор проб проводился ежедневно в 10 пунктах, расположенных вдоль

северного побережья Черного моря, самый западный и самый восточный из которых разнесены по широте почти на  $9^\circ$ .

Характеристика результатов наблюдений. Анализ атмосферных выпадений производился по методике, принятой в Гидрометеослужбе СССР [3]. Для определения среднесуточной плотности выпадения использовались горизонтальные планшеты. Концентрация радиоактивных веществ в воздухе определялась с помощью вертикальных планшетов и фильтровентиляционных установок. Измерения  $\beta$ -активности проводились на торцевых  $\beta$ -счетчиках в первые сутки после съема отбора пробы и спустя 3, 5 и более суток. Это позволяло определять вклад долгоживущих антропогенных радионуклидов в суммарную  $\beta$ -активность пробы.

Погрешность радиометрических измерений для интервала величин от 0,3 до 3,5 Бк составляла от 5 до 90 % в зависимости от радиоактивности пробы. Среднестатистическая погрешность, рассчитанная на основе 500 проб, составляет 33 %.

Результаты измерений представляются в виде таблиц двух типов – КАР-2 (плотность выпадения радиоактивных продуктов) и КАР-3 (радиоактивность воздуха) [4]. Кроме данных радиоизотопных измерений в таблицы включены результаты метеонаблюдений: количество и продолжительность осадков, скорость и направление ветра, высота облачности.

Изотопный состав  $\beta$ -активных выпадений. Радиоактивность атмосферных аэрозолей обусловлена наличием в них трех групп радионуклидов, распад которых сопровождается испусканием  $\beta$ -частиц. К первой относятся продукты распада природных радиоактивных изотопов  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{222}\text{Rn}$ , концентрация которых в нижних слоях атмосферы составляет порядка  $3.7 \text{ Бк/м}^3$  [5]. Периоды по-

лураспада большинства дочерних продуктов изотопов радона составляют менее тридцати минут. Исключением является  $^{210}\text{Pb}$  ( $T_{1/2}=22$  года) и его дочерний изотоп  $^{210}\text{Bi}$  ( $T_{1/2}=5$  дней). Вторую группу составляют космогенные изотопы —  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{32}\text{Si}$  и некоторые другие. Их содержание в воздухе на несколько порядков ниже, чем продуктов распада радона. В третью группу входят продукты ядерных взрывов, суммарная  $\beta$ -активность которых спустя год после взрыва характеризуется лишь пятью радионуклидами:  $^{144}\text{Ce}$  —  $^{144}\text{Pr}$  (45 %),  $^{90}\text{Sr}$  —  $^{90}\text{Y}$  (15 %),  $^{137}\text{Cs}$  (15 %),  $^{147}\text{Pm}$  (18 %) и  $^{106}\text{Ru}$  —  $^{106}\text{Rh}$ . И, наконец, около 5 % от суммарной  $\beta$ -активности атмосферных выпадений приходится на долю  $^{40}\text{K}$ , который поступает в приземный слой атмосферы с пылью и брызгами морской воды.

#### Анализ результатов наблюдений.

Для анализа пространственной и временной изменчивости атмосферных выпадений  $\beta$ -активных радионуклидов были использованы результаты измерений, выполненных в 1965-1970 г.г. и 1990-1994 г.г. В течение первого периода уровень радиоактивных выпадений определялся главным образом поступлением из стратосферного резервуара, возникшего в результате атмосферных испытаний ядерного оружия, и “свежими” продуктами от взрывов, которые продолжали проводить в атмосфере Франция и Китай.

Второй период характеризуется отсутствием “свежих” продуктов в атмосфере и значительным уменьшением потока долгоживущих антропогенных радиоизотопов из стратосферы. Доля естественных радионуклидов становится более высокой. Это хорошо видно при анализе результатов измерений, выполненных через разные промежутки времени после отбора пробы. Если для проб, отобранных в шестидесятые годы, при измерении на третьи и пятые сутки

скорость счета уменьшалась незначительно, что свидетельствует о большой доле долгоживущих радионуклидов, то для периода девяностых годов в большинстве случаев уменьшение активности проб за счет распада короткоживущих дочерних изотопов радона существенно. Определенный вклад вносят и радионуклиды чернобыльского происхождения, попадающие в атмосферу в результате вторичного ветрового подъема и последующего трансграничного переноса.

В таблице 1 представлены суммарные за месяц выпадения  $\beta$ -активных радионуклидов, зарегистрированные в феврале и июле 1965-1970 г.г. Анализ результатов наблюдений показал, что, несмотря на прекращение атмосферных взрывов основными ядерными державами, уровень радиоактивных выпадений в Азово-Черноморском регионе за шесть лет практически не изменился. Обусловлено это было тем, что уменьшение потока антропогенных радионуклидов из стратосферного резервуара компенсировалось выпадением “свежих” продуктов от взрывов, проводимых Китаем и Францией. Так, после взрыва мощностью  $>20$  кт, проведенного Китаем 14 мая 1965 г., уже во второй половине мая было зафиксировано повышение среднесуточной плотности выпадений в 2-5 раз. След этого радиоактивного облака отмечался практически во всех пунктах наблюдения не только в мае-июне, но и в июле 1965 г.

В то же время, после более мощного взрыва (3 Мт), произведенного 9 мая 1966 г., повышения радиоактивных выпадений в Черноморском регионе не наблюдалось. Следует также отметить, что пять французских ядерных взрывов, проведенных в этом же году в умеренных широтах южного полушария, никак не сказались на уровнях радиоактивного загрязнения атмосферы в районе Черного моря.

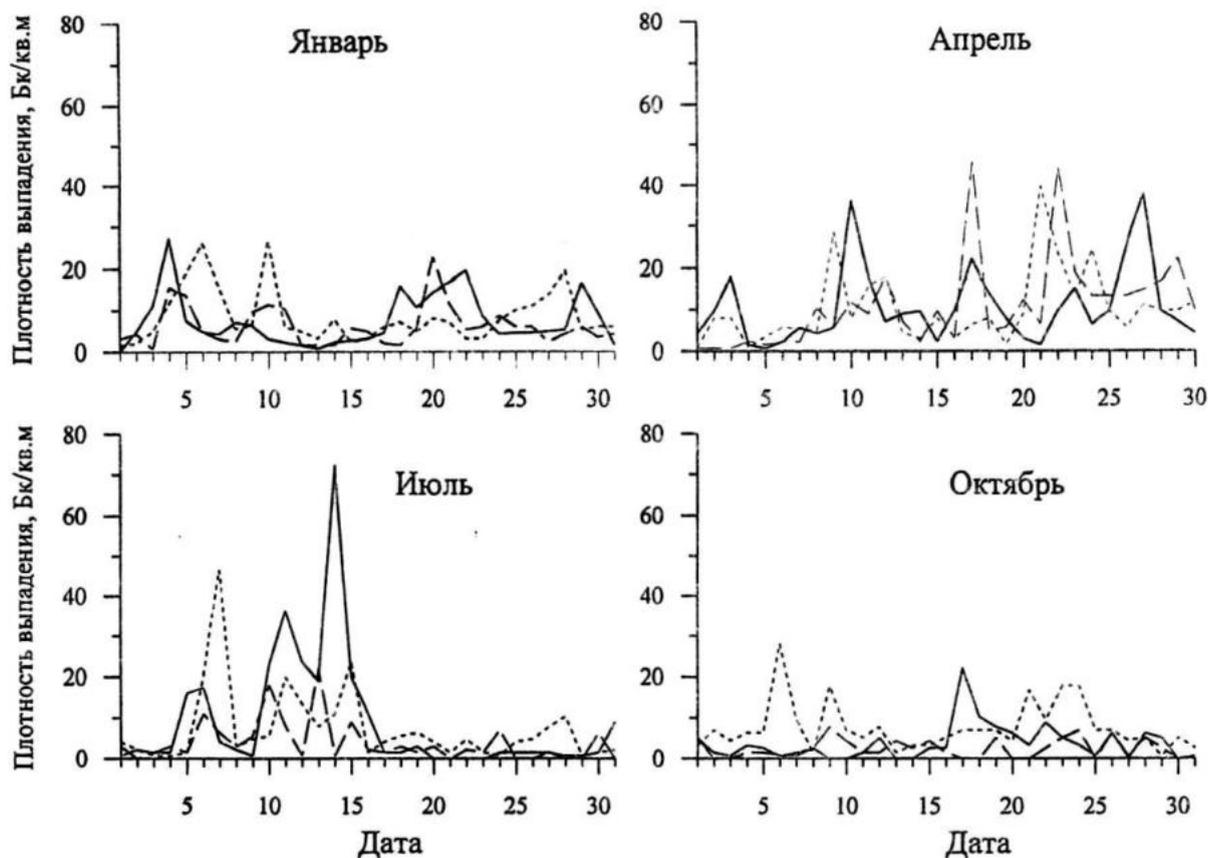


Рис. 1. Среднесуточные выпадения радиоактивных продуктов в Измаиле (сплошная линия), Севастополе (пунктирная линия) и Керчи (штриховая линия) в отдельные месяцы 1965 г.

Неравномерность плотности выпадений радиоактивных продуктов особенно ярко проявлялась в отдельные дни, когда по территории региона перемещались высокие циклоны, охватывающие своей циркуляцией пограничные слои между тропосферой и стратосферой (рис. 1). В системе таких циклонов при развитии мощной облачности и осадках наблюдалось повышение плотности выпадений в несколько раз. Так, 29-30 марта 1965 г. при прохождении циклона зарегистрировано резкое увеличение выпадений: в Одессе – до 56 Бк/м<sup>2</sup>сут., Севастополе – до 40 Бк/м<sup>2</sup>сут., тогда как в предшествующие сутки величина выпадений составляла 6-7.5 Бк/м<sup>2</sup>сут. Резкое повышение выпадений в западной части региона в конце мая - июле 1965 г. также связано с про-

хождением средиземноморских циклонов.

Даже поверхностный анализ результатов наблюдений позволяет установить тесную связь между плотностью выпадений и наличием осадков (табл. 1). Проведенные расчеты показали, что около 70 % всех выпадений радиоактивных продуктов приходится на дни с атмосферными осадками. В зимние месяцы эта величина может превышать 90 %, тогда как в аномально сухие летние месяцы понижается до 15-20 %. Не выявлено прямой зависимости между среднесуточным количеством осадков и плотностью выпадений. В то же время просматривается связь плотности выпадений с высотой и интенсивностью дождевых облаков, что вполне согласуется с опубликованными результатами исследований [6].

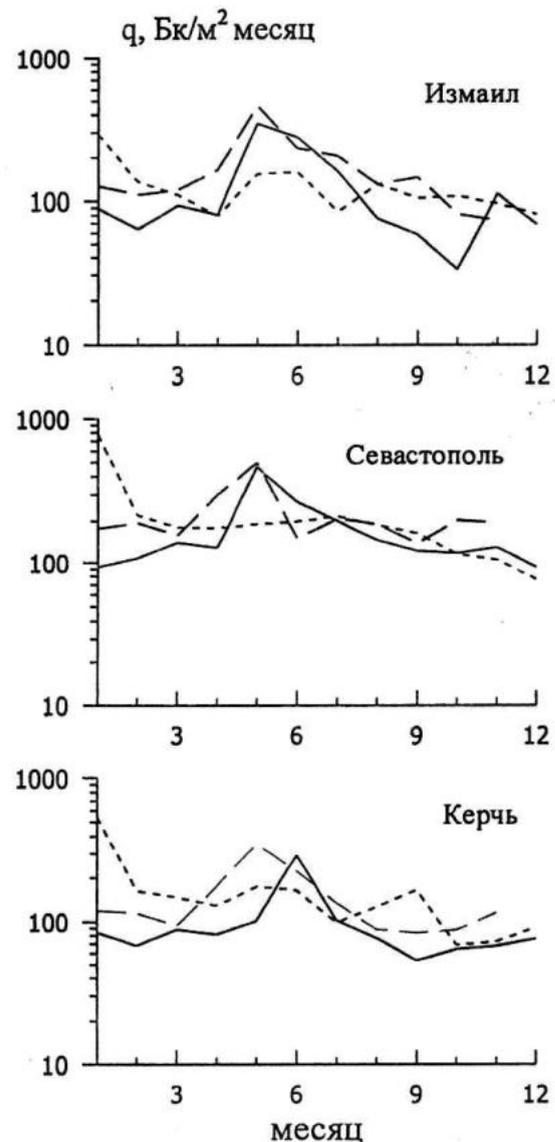
Плотность выпадений из атмосферы долгоживущих бета-активных радионуклидов, Бк/(м<sup>2</sup>·год)

№	Пункты наблюдения	Периоды наблюдения					
		1966	1968	1970	1990	1992	1994
1	Измаил	1469	1715	1730	816	693	696
2	Одесса	—	—	—	1207	1080	1050
3	Николаев	1265	3266	1595	887	719	697
4	Херсон	1308	—	—	—	—	—
5	Черноморское	1309	—	—	—	—	—
6	Севастополь	2022	2618	2251	—	—	—
7	Феодосия	955	1538	927	822	719	707
8	Керчь	1157	1950	1471	824	743	753
9	Геническ	1195	1694	1272	—	—	—
10	Мариуполь	1734	2343	1932	—	—	—

Попытки обнаружить годовой ход в рассматриваемый период не привели к желаемому результату, поскольку на сезонное распределение накладывалось влияние “свежих” продуктов ядерных взрывов. Отмеченный в литературе весенний максимум радиоактивных выпадений [7] почти ежегодно “перекрывался” новыми испытаниями.

Анализируя данные наблюдений, относящиеся ко второму периоду (1990-1994 г.г.), следует отметить аномально высокий уровень выпадений в Одессе (табл.2). Он в полтора раза превышает выпадения в других пунктах наблюдений, разброс которых составляет менее 10 %. Большая однородность выпадений, наблюдаемая в регионе в этот период по сравнению с 1966-1970 г.г., обусловлена, очевидно, тем, что относительный вклад природных радионуклидов в общий поток значительно повысился за счет уменьшения выпадений искусственных радиоизотопов.

Рис. 2. Внутригодовой ход суммарных за месяц выпадений радиоактивных продуктов в трех пунктах наблюдения: сплошная линия – 1966 г.; пунктирная – 1968 г.; штриховая – 1970 г.



В настоящей работе приведены результаты предварительного анализа данных, полученных в течение тридцатилетнего радиэкологического мониторинга. Более детальный анализ позволит выявить возможную связь радиоактивных выпадений с метеорологическими процессами.

Работа выполнена при поддержке Украинского научно-технологического центра (проект № 1547).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды.-М.: Гидрометеоздат.-1984.-560 с.

2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 4. Черное море. Вып. 3. Современное состояние загрязнения вод Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика.-1996.- 230 с.

3. Сборник методик по определению радиоактивности окружающей среды / Под. ред. А.И. Силантьева.-М.: Гидрометеоздат.-1968.-40 с.

4. Сборник таблиц КАР-2. Гидрометефонд Черного и Азовского морей Морского отделения УкрНИГМИ. Севастополь. 2000 г.

5. Израэль Х., Хорверт М., Израэль Г.В. Результаты непрерывных измерений радона и продуктов его распада в нижней атмосфере / В кн. Исследования по ядерной метеорологии и химии атмосферы.-Л.: Гидрометеоздат.-1969.- С. 145-148.

6. Кошельков Ю.П. К вопросу об обмене воздухом между стратосферной и тропосферой в зоне разрыва тропопаузы // Труды ЦАО.-1968.- Вып. 85.- С.91-105

## МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ РЕЧНОГО СТОКА В СЕВЕРО- ЗАПАДНУЮ ЧАСТЬ ЧЕРНОГО МОРЯ

Г.Ф. Джиганшин, И.Ю. Юркова  
Морской гидрофизический инсти-  
тут НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

### Введение

Северо-западная часть Черного моря (СЗЧ) представляет собой шельфовую зону, гидрологический режим которой, в значительной мере, формируется под влиянием поступающего в нее речного стока и относительно свободного водообмена с открытым морем. Она включает в себя западный район моря, севернее 45-ой параллели, площадью около 48000 км<sup>2</sup>, объемом – 1150 км<sup>3</sup> и средней глубиной около 24м. Три крупных реки (Дунай, Днепр, Днестр) впадают в СЗЧ на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга, принося 80% всего речного стока в Черное море и определяя уникальность этого района. Гидрологический режим названных рек достаточно хорошо освещен в литературе [1–7], однако в этих публикациях, как правило, рассматривается режим отдельных рек [1–4], а обобщающие работы [5–7] написаны 10–15 лет тому назад и нуждаются в уточнениях.

При оценке экологического состояния шельфовой зоны СЗЧ особый интерес представляют сезонные и межгодовые вариации объема речного стока, т.к. концентрация биологически активных, а также загрязняющих веществ, тесно связана с объемом поступающих сюда речных вод [8]. Время полного обновления водной массы СЗЧ, составляющее в среднем 1,2 года [7], зависит от степени распреснения шельфовых вод, а также от объемов вод, заносимых сюда Основным Черноморским течением (ОЧТ) и речным стоком. По оценкам, приведенным в [9], объем морских вод, заносимых в

СЗЧ струями ОЧТ, изменяется в зависимости от вариаций интенсивности последнего от 600 до 4000 км<sup>3</sup>. Объем же распресненных до 18 ‰ шельфовых вод, образующихся здесь за счет поступления речных вод, в среднем за год составляет около 1244 км<sup>3</sup>.

Месячные значения объема стока рек являются основной характеристикой внутригодового распределения стока. Межгодовые же изменения этого параметра могут служить, в некоторой степени, показателем речного регулирования и представляют, таким образом, не только научно - исследовательский интерес, но и практическую значимость.

Целью настоящей работы является уточнение основных черт внутригодовой изменчивости и выявление тенденций в долгопериодных колебаниях стока рек в Северо-западную часть Черного моря.

### Исходные материалы и методика исследования

Для ответа на поставленные вопросы по данным ежемесячных значений объема стока Дуная, Днепра, Днестра, Ю. Буга за период 1951 по 1996 гг. были вычислены и проанализированы ряды среднегодовых и среднемноголетних месячных значений стока, а также текущие значения ежемесячных аномалий стока. Кроме того, были привлечены годовые значения стока Дуная за период с 1860 по 1996 гг. и Днепра за период с 1818 по 1996 гг. По этим данным были вычислены значения среднеквадратических отклонений объема годового стока от нормы ( $\sigma_{ст.}$ ) и выделены годы, в которые объем стока соответствовал норме, был меньше и превышал ее (нормальные, маловодные и многоводные годы). Был вычислен и проанализирован типичный годовой ход стока для каждой из этих совокупностей. К числу аномальных лет относились годы, в которые отклонения годового стока от нормы превышали величину  $\sigma_{ст.}$

### Анализ результатов

Как видно из таблицы 1, почти 80% суммарного стока приходится на реку Дунай. Однако в течение года происходит незначительное перераспределение вкладов основных рек Дуная и Днепра в суммарный сток (рис.1). Так, наибольшие значения относительного вклада стока Дуная наблюдаются в летний период с июня по сентябрь. Максимальный вклад до 84% наблюдается в июле. В период с ноября по май доля Дуная в суммарном стоке составляет приблизительно 77%. Практически зеркальная картина имеет место в сезонном распределении вклада Днепра: минимальный вклад (около 11%) в июле и 12-18% в период с ноября по май.

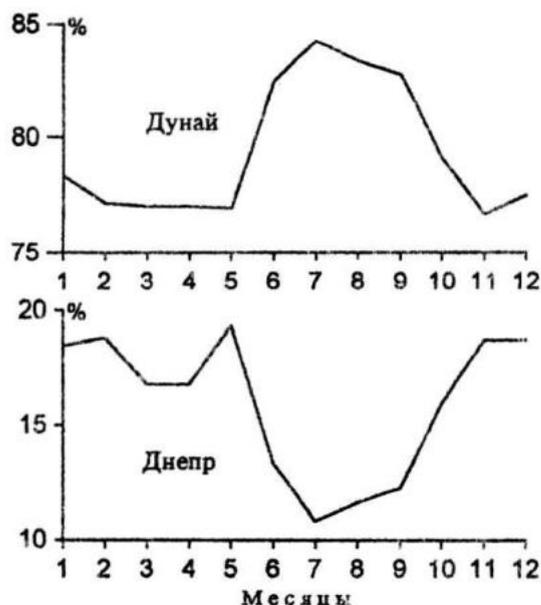


Рис. 1. Сезонные изменения относительного вклада рек в суммарный сток.

Таблица 1.

Среднегодовое количество стока в СЗЧ, рассчитанные за период с 1951 по 1996 гг.

Реки	Площадь водосбора (км <sup>2</sup> )	Объем стока		$\sigma_{ст.}$ (км <sup>3</sup> )	Max (км <sup>3</sup> )	Min (км <sup>3</sup> )
		(км <sup>3</sup> )	(%)			
Дунай	817 000	205,84	77,52	37,00	313,14	132,29
Днепр	505 810	46,88	17,65	13,56	83,10	23,08
Днестр	72 000	9,89	3,72	2,91	19,29	4,85
Ю. Буг	68 000	2,93	1,1	1,08	6,25	0,60
Итого	1 462 820	265,54	100	49,10	407,59	175,88

Внутригодовые колебания суммарного стока рек в СЗЧ (рис.2) характеризуются относительно высоким весенним половодьем с пиком в мае, осенней меженью с минимумом в сентябре и некоторым увеличением стока в зимний период с промежуточным максимумом в январе. При этом сезонные колебания стока отдельных рек не согласуются между собой по фазе в виду различия физико-географических условий, определяющих водный режим этих рек. Каждая река в отдельности имеет свои индивидуальные черты. Из гидрографа реки Дунай видно, что на апрель-июнь приходится наибольшая, почти третья часть годового стока. В январе наблюдается незначительный промежуточный максимум стока, обуслов-

ленный частичным таянием снегов в периоды оттепелей в западной части бассейна Дуная.

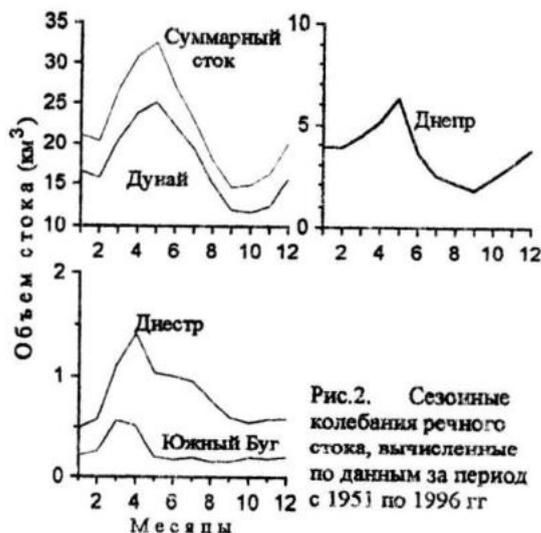


Рис.2. Сезонные колебания речного стока, вычисленные по данным за период с 1951 по 1996 гг.

Для Днепра характерно высокое весеннее половодье, нарастающее с марта по май и понижение стока в летне-осенний период; для Днестра – относительно высокое весенне-летнее половодье с максимумом в мае и понижение стока в осенне-зимний период с минимумом в январе. Водный режим Ю. Буга характеризуется высоким весенним половодьем – большая часть стока реки проходит в марте-апреле (40-45 % годового стока), низкой летней и осенней меженью, некоторым увеличением стока зимой.

Среднегодовое количество поступающего в СЗЧ речного стока, рассчитанный за период с 1951 по 1996 гг., равен  $265,54 \text{ км}^3$  (табл.1), что согласуется с результатами работы [5], и приблизительно на 8% превышает оценку, полученную в работе [9]. Различия, по всей видимости, объясняются тем, что межгодовая изменчивость годового стока рек в СЗЧ чрезвычайно велика, и оценки, полученные по данным малого периода осреднения в работе [9] (29 лет), являются менее достоверными. И действительно, судя по данным таблицы 1, типичные и экстремальные отклонения среднегодовых значений суммарного стока, а также стока реки Дунай за 47-летний период с 1951 по 1996 гг. составляют соответственно 18% и 35-50% от климатической нормы. Более контрастные соотношения получены для Днепра (30% и 50-70%), Днестра (29% и 50-95%) и для Южного Буга (36% и 80-113%).

Графики колебаний текущих аномалий суммарного годового стока, а также колебаний аномалий годового стока Дуная и Днепра, рек, дающих в совокупности около 95% суммарного поступления пресной воды в СЗЧ (см. табл.1), указывают на наличие широкого спектра межгодовых флуктуаций с периодичностью от одного года до 10-20 лет (рис.3). Графики же спектральной плотности колебаний стока рек в СЗЧ (рис.4) показывают, что в суммарном стоке, а также в стоке реки

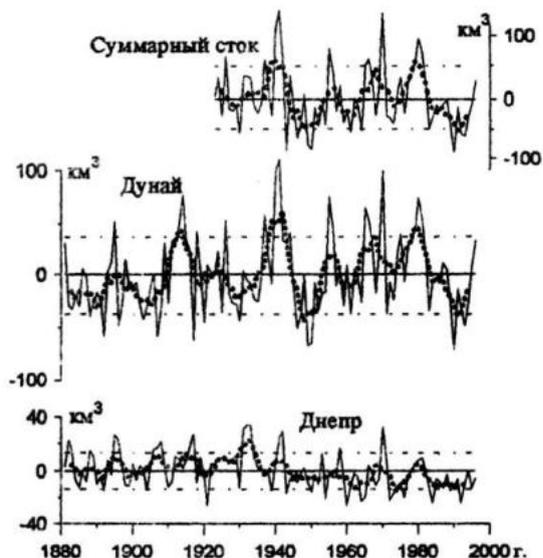


Рис. 3. Текущие аномалии стока основных рек, впадающих в СЗЧ. Пунктирная кривая – 5-точечное сглаживание, пунктирные прямые – уровни стандартных отклонений.

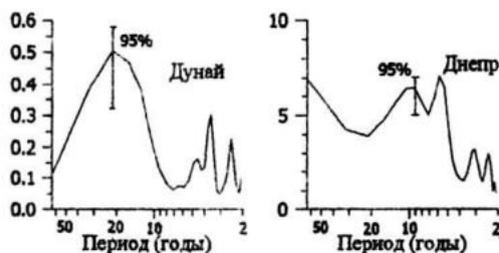


Рис. 4. Спектральная плотность колебаний стока рек ( $10^6 \text{ км}^3/\text{год}$ ).

Дунай доминируют колебания с 20-летней, а в стоке Днепра – колебания с 10-летней периодичностью. По данным [9,10], в иерархии временных масштабов изменчивости стока анализируемых рек, наряду с сезонными колебаниями, значимое место отводится флуктуациям десяти - одиннадцатилетней периодичности, которые отвечают за 20-30% общих вариаций годового стока [10]. Отметим, что результаты, полученные нами, согласуются с литературными данными лишь для стока Днепра, тогда как для суммарного стока и стока Дуная такого согласия не отмечается, что, по-видимому, объясняется различиями в длинах анализируемых рядов.

Каковы же типичные особенности внутригодовых колебаний стока глав-

ных рек, впадающих в СЗЧ в нормальные и аномальные годы?

Как видно из рис.5, внутригодовые колебания стока р.Дунай в нормальные и аномальные годы в течение почти всего года совпадают по фазам весеннего половодья и различаются по фазам осенней межени: в аномально маловодные годы осенняя межень наступает в августе-сентябре, тогда как в нормальные и аномально многоводные годы осенняя межень наблюдается на полтора-два месяца позже (в ноябре). Промежуточный (январский) максимум стока наиболее выражен в аномально маловодные годы. Характерной же особенностью стока Дуная в аномальные годы является то, что уровень аномальности наблюдается практически в течение всего года, о чем свидетельствует параллельность графиков сезонных колебаний стока. В отличие от внутригодовых колебаний стока Дуная, сезонные изменения стока Днепра в нормальные и аномальные годы не различаются по фазам весеннего половодья и летне-осенней межени. Принципиальные различия наблюдаются в период весеннего половодья. В аномально многоводные годы объем выносимых в море днепровских вод в период весеннего половодья более чем вдвое превышает объем вод, выносимый в нормальные годы, а в аномально маловодные годы весеннее половодье на Днепре практически не выражено. В большую часть года (с июля по февраль) различия в объемах днепровского стока в нормальные и аномальные годы практически отсутствуют.

Таким образом, в экстремальные годы аномальное воздействие пресного стока на термохалинную структуру вод приустьевых районах Дуная имеет место в течение всего года. В северной же части СЗЧ, где значима роль днепровского стока, в экстремально многоводные годы аномальное действие пресного стока носит выраженный импульсный характер и должно наблюдаться лишь в период весеннего

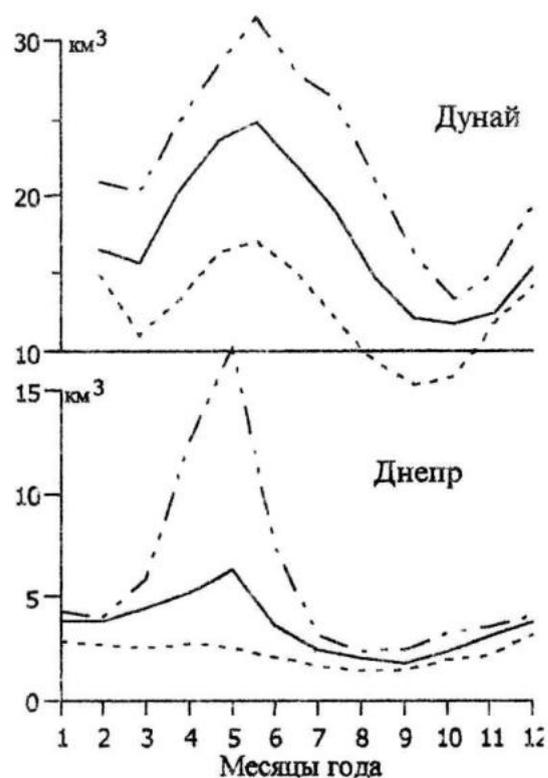


Рис. 5. Сезонные колебания стока Дуная и Днепра в нормальные и экстремальные годы. Сплошная линия - нормальные годы, пунктирная линия - аномальные годы.

половодья. В аномально маловодные годы из-за практического отсутствия весеннего половодья, распределяющее влияние речного стока в течение всего года сведено к минимуму.

Каковы же конкретные проявления межгодовой изменчивости стока рек, а главное, каковы долгопериодные тенденции в изменениях стока?

Тщательный анализ рядов аномалий (рис.3) показывает, что в течение анализируемого периода в стоках Дуная и Днепра наблюдалось соответственно 17,18 аномально влажных и 15,16 аномально сухих лет. Причем в отдельные экстремальные годы отклонения от нормы более чем вдвое превышали соответствующие уровни стандартных отклонений  $\sigma_{от}$ . Так, например, в экстремально многоводный 1941 год объем речного стока в Северо-западную часть достиг 407,59 км<sup>3</sup>, а в экстремально маловодный 1990 год объем стока не превысил 175,88 км<sup>3</sup>. Т.к. объем стока Дуная составляет 78% всего речного стока в

Северо-западный район, то межгодовые изменения суммарного стока рек по фазе практически повторяют колебания стока р. Дунай. Судя по результатам 5-ти точечного сглаживания (жирная пунктирная линия на рис.3) в течение анализируемого отрезка времени в стоке Дуная, а следовательно и в суммарном стоке наблюдалось 4 периода продолжительностью около 10 лет, во время которых доминировали аномально высокие объемы речного стока и 2 периода (в том числе и последнее десятилетие), во время которых доминировали аномально низкие объемы стока.

В межгодовых вариациях стока Днепра отмечается довольно заметная тенденция снижения водности Днепра, которая началась с середины 40-х годов и продолжается до настоящего времени. В целом последняя декада анализируемого периода (1983-1995гг.) характеризовалась общим уменьшением водности рек с экстремально малыми значениями суммарного стока в 1990 и 1993 гг.

### Выводы

1. Внутригодовые колебания стока рек по характеру их проявления различаются между собой в нормальные и экстремальные по водности годы. Сток Дуная в нормальные и экстремальные по водности годы в течение почти всего года совпадает по фазам весеннего половодья и различается по фазам осенней межени. В аномально сухие годы осенняя межень наступает в августе-сентябре, тогда как в нормальные и экстремально многоводные годы осенняя межень наблюдается на полтора-два месяца позже (в ноябре). Январский промежуточный максимум стока наиболее выражен в аномально сухие годы. Характерной же особенностью стока Дуная в экстремальные годы является то, что уровень аномальности наблюдается практически в течение всего года.

2. Сезонные изменения стока Днепра в нормальные и экстремально

многоводные годы не различаются по фазам весеннего половодья и летне-осенней межени. Принципиальные различия наблюдаются в период весеннего половодья. В экстремально многоводные годы объем выносимых в море днепровских вод в период весеннего половодья более чем вдвое превышает объем вод, выносимый в нормальные годы, а в экстремально маловодные годы весеннее половодье на Днестре практически не выражено. В большую часть года (с июля по февраль) различия в объемах днепровского стока в нормальные и экстремальные годы практически отсутствуют.

3. В экстремальные годы аномальное воздействие пресного стока на термохалинную структуру вод приустьевых районах Дуная имеет место в течение всего года. В северной же части СЗЧ, где значима роль днепровского стока, в экстремально многоводные годы аномальное действие пресного стока носит выраженный импульсный характер и должно наблюдаться лишь в период весеннего половодья. В аномально маловодные годы из-за практического отсутствия весеннего половодья, распресняющее влияние речного стока в течение всего года сведено к минимуму.

4. В межгодовых вариациях стока Днепра отмечается тенденция снижения водности Днепра, которая началась с середины 40-х годов и продолжается до настоящего времени. В целом последняя декада анализируемого периода (1983 – 1995 гг.) характеризовалась общим уменьшением водности рек с экстремально малыми значениями суммарного стока в 1990 и 1993 годах.

### ЛИТЕРАТУРА.

1. Костяницын М.К. Гидрология устьевой области Днепра и Ю.Буга. Гидромет. издат. М.,1964г., с.335.

2. Никифорова Я.Д., Дьякону К.Л. Гидрология устьевой области Дуная. Гидромет. издат. М.,1963г., 386 с.

3. Львовский В.К. Очерки по гидрографии рек СССР. Изд. Академии наук СССР, М., 1953г.
4. Швец Г.И. Многовековая изменчивость стока Днепра. Гидромет. изд-дат. Ленинград, 1978г.
5. Альтман Э.Н., Кумыш Н.И. Многолетняя и внутригодовая изменчивость баланса пресных вод Черного моря.- Труды ГОИН 1986г., вып.176, стр.3 -17.
6. Tolmazin, D. Changing coastal oceanography of the Black Sea. I: The northwestern shelf // *Prog. Oceanogr.* - 1985. - Vol.15. - P. 217-276.
7. Большаков В.С. Трансформация речных вод в Черном море. - Киев.: Наук. думка, 1970.- 328с.
8. Humborg, C., Ittekkot, V., Cosiasu, A. & Bodungen, B. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure // *Nature.* -1997. - 386. - P. 385-388.
9. Андрианова О.Р. Взаимодействие распресненных шельфовых вод с основным черноморским течением. - Диссертация на соискание уч. степени кандидата геогр. наук. М.: ИО РАН, 1992.-157с.
10. Polonsky, A., Voskresenskaya, E., Belokopitov, V. Variability of Northwestern Black Sea hydrography and river discharges as part of global ocean-atmosphere fluctuations. *Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea* (eds. E. Ozsoy and A. Mikaelyan), 1997. - P.11-24.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ПОЛИГОНАХ ЭГЕЙСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Л.Д.Пухтяр, А.С.Кукушкин

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Из практики натуральных и теоретических исследований определенно следует, что решение ряда океанологических задач невозможно без всестороннего изучения внутренних волн, повсеместно присутствующих в стратифицированном океане. Несмотря на обилие публикаций теоретического и экспериментального характера, посвященных изучению этого явления, представление о реальном поле внутренних волн остается весьма несовершенным. Особенно это относится к бассейнам морей, где близость берегов, мелководий, островов, шельфовых зон значительно усложняет картину, дополняя ее волновыми движениями других типов. К таким морям в частности относится Эгейское море.

В работе на основе гидрологических данных, полученных с помощью СТД-зонда (МГИ 4102) в 6-м рейсе НИС "Профессор Колесников" с 14 по 26 июля 1983 г. на трех полигонах в Эгейском море, выполнены расчеты параметров внутриволновых движений и проведено их сравнение с экспериментальными данными, полученными в этом же рейсе с помощью буксируемого градиентно-распределенного датчика температуры [1]. Одновременно с буксировкой градиентно-распределенного датчика проводились измерения напряженности электрического поля (ЭП) в поверхностном слое моря, обусловленного флуктуациями горизонтальных

компонент скорости внутриволновых движений. Для этих целей использовался поверхностный электромагнитный измеритель течений (ЭМИТ) с измерительной базой равной 100 м и графитовыми электродами конструкции В.И.Лопатникова. Возможность таких измерений показана в работах [2,3].

Условия образования и развития внутренних волн в Эгейском море обладают значительной пространственно-временной изменчивостью, что объясняется изолированностью моря от остальных районов Средиземного моря, опреснением поверхностных вод в северной части моря в результате проникновения мраморноморских вод, сложной системой течений и наличием интенсивного гидрологического фронта квазизональной ориентации.

Исследование этих условий включали комплексную гидрологическую съемку СТД-зондом, которая сочеталась с измерениями поверхностных течений с помощью ЭМИТ [4,5].

Анализ горизонтальных распределений температуры, солености и плотности в поверхностном слое моря, полученных по данным гидрологической съемки, показал, что гидрологический режим определяется взаимодействием двух водных масс — мраморноморской, которая имеет пониженную соленость, и высокосоленной местной (Эгейской) водной массы. В результате их взаимодействия формируется интенсивный фронт квазизональной ориентации, наиболее отчетливо проявляющийся в полях солености (рис.1) и условной плотности.

Измерения параметров внутренних волн проводились на трех полигонах в районах моря, отличающихся друг от друга по своим гидрологическим характеристикам и динамике вод в поверхностном

слое [5]. Первый полигон (центральный) находился в центральной части района работ, во фронтальной зоне, обусловленной взаимодействием мраморноморских и эгейских вод. Для него характерна значительная изменчивость вертикального распределения температуры и динамики вод. Второй полигон (северный) находился в северной части района исследований в зоне течения, переноса распреденные мраморноморские воды. Третий полигон (южный) располагался в области стабильного потока левантийских вод, поступающих в подповерхностный слой моря с юга.

Результаты качественного анализа экспериментальных данных и их спектральной обработки [1] сведены в таблицу 1, где для 12 галсов приведены периоды, длины, амплитуды и фазовые скорости внутренних волн.

Оценки параметров волн, зарегистрированные на 3–6 галсах полигона №1 являются приближенными, так как они получены только по профилям изменения глубины термоклина. По вычисленным спектрам ЭП определены только длины волн, которые не всегда совпадают с результатами обработки данных градиентно-распределенного датчика, что, видимо, объясняется существенной анизотропией многообразия наблюдаемых волн на полигонах. В целом по данным ЭМИТ выделяются более короткопериодные волны.

Выполним расчеты волновых движений в северной части этого моря, основываясь на натуральных гидрологических данных полученных в экспедиционных исследованиях в 6 рейсе II этапе НИС "Профессор Колесников", с 24 июня по 30 июля 1983 г. и проведем сравнение с экспериментальными результатами экспедиционных из-

мерений характеристик внутренних волн.

Целью наших теоретических расчетов в этом районе является сопоставление теоретических и экспериментальных результатов и расчет недостающих параметров волн при их неполной характеристике в табл.1.

При теоретическом рассмотрении волнового движения жидкости будем полагать море постоянной глубины  $D$ , безграничным в горизонтальной плоскости, вертикально жидкость является непрерывно-стратифицированной по плотности, состоящей из двух слоев, выше и ниже границы сезонного термоклина, в которых плотность меняется экспоненциально.

Систему декартовых координат расположим так, чтобы начало координат располагалось на поверхности моря, ось  $z$  направлена вертикально вверх, оси  $x$  и  $y$  лежат в горизонтальной плоскости и ориентированы произвольно относительно магнитного меридиана. Считаем, что волны в жидкости вызываются барическими возмущениями типа бегущей волны

$$P_0 = A_0 \exp i(mx + ny - \omega t) \quad (1)$$

и такой же вид принимают волновые скорости в жидкости.

Задача решается, исходя из системы уравнений движения

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + fU_y = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \mu_1 \Delta_h U_x, \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_y}{\partial t} - fU_x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \mu_1 \Delta_h U_y, \quad (3)$$

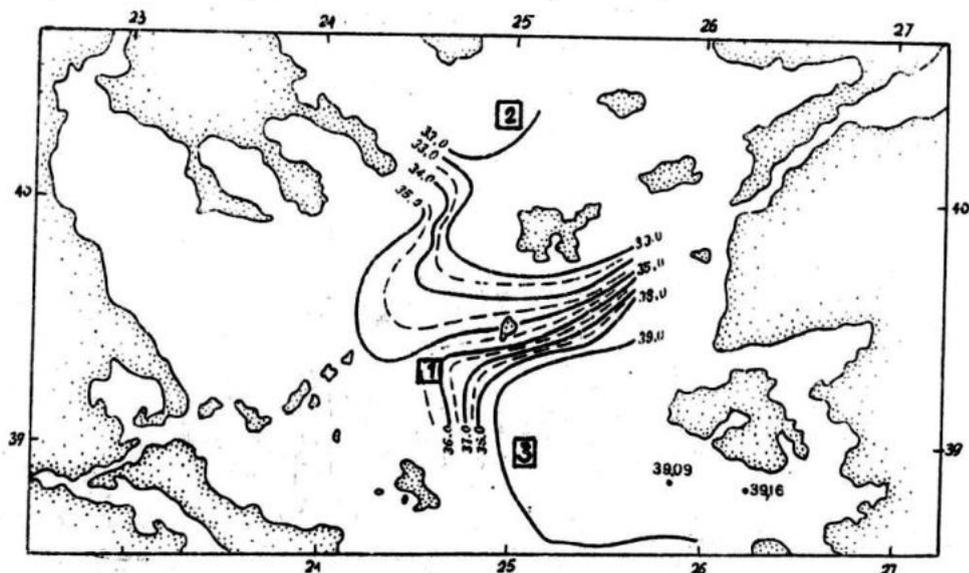


Рис. 1. Схема расположения полигонов (1—3) и распределение солености на поверхности Эгейского моря.

Таблица 1

Параметры экспериментальных измерений ВВ на галсах трех полигонов северной части Эгейского моря.

ПОЛИГОН	номер галса	период	длина волны, км	амплитуда, м	фазовая скорость, м/с	длина волны, км (по спектрам ЭП)
№1 централь- ный	1	5 мин	0.5	2	—	—
	2	6—7 мин	—	—	—	—
		—	~1.0	2—3	—	—
	3	—	23	—	—	—
	4	~ 6 ч	25.9	21—26	1.1	0.55
	5	~ 6 ч	25.9	21—26	1.1	0.69
	6	~ 6 ч	25.9	21—26	1.1	—
№2 север- ный	7	—	0.77	≤1	—	0.63; 1.06; 2.1
	8	—	1.25	≤1	—	0.65; 0.86
	9	—	1.67	≤1	—	0.86; 1.1
	10	—	—	≤1	—	0.72; 1.06; 5.55
№3 южный	11	5—6 мин	—	≤3	0.56	0.55—0.77
		—	11	—	—	1.1
		—	1.25—1.42	—	—	2.1
	12	1 час	—	~3	0.56	0.83; 1.3
	2.1 час	1.92	—	—	0.25	10.0

$$\frac{\partial U_z}{\partial t} - g \frac{\rho}{\bar{\rho}} = -\frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial P}{\partial z} + \mu_1 \Delta_h U_z, \quad (4)$$

уравнения неразрывности

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

уравнения диффузии плотности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + U_z \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z} = K_1 \Delta_h \rho, \quad (6)$$

с граничными условиями

$$p + \bar{\rho} g \xi = p_0 \text{ при } z=0, \quad (7)$$

$$U_z = 0 \text{ при } z=D \quad (8)$$

с учетом кинематического условия

$\frac{\partial \xi}{\partial t} = U_z(x, y, 0, t)$  на невозмущенной поверхности моря. Здесь  $U_x, U_y, U_z$  — горизонтальная и вертикальная составляющие вектора скорости волнового возмущения,  $\xi$  — отклонение свободной поверхности от невозмущенного состояния,  $\bar{\rho}$  — стационарная плотность жидкости,  $K_1, \mu_1$  — коэффициенты горизонтальной турбулентной диффузии и вязкости,  $f = 2\Omega \sin \varphi$  — параметр Кориолиса,  $\Omega$  — частота вращения Земли,  $\varphi$  — географическая широта. Отыскивая периодические по времени  $t$  и горизонтальным координатам  $x, y$  решения вида

$$\Psi(x, y, z, t) = \Psi_0(z) \exp i(mx + ny - \omega t) \quad (9)$$

получим для определения амплитуды вертикальной составляющей скорости уравнение

$$U_z'' + a_1 U_z' + a_2 U_z = 0, \quad (10)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} U_z' + a_3 U_z &= a_4 \text{ при } z=0, \\ U_z &= 0 \text{ при } z=D. \end{aligned} \quad (11)$$

А на внутренней поверхности раздела слоев жидкости при  $z=d$  выполняются кинематическое и динамическое условия

$$U_z^{(1)} = U_z^{(2)}, \quad p^{(1)} = p^{(2)}, \quad (12)$$

где индекс 1 означает слой воды от 0 до  $d$ , индекс 2 от  $d$  до  $D$ .

Плотность в слоях жидкости меняется по следующему закону:

$$\text{в слое 1} \quad \bar{\rho} = \rho_1 e^{\Gamma_1 z}, \quad \Gamma_1 = \frac{1}{d} \ln \frac{\rho_1}{\rho_2},$$

$$\begin{aligned} \text{в слое 2} \quad \bar{\rho} &= 2\rho_2 - \rho_2 e^{-\Gamma_1(z-d)}, \\ \Gamma_2 &= -\frac{1}{D-d} \ln\left(2 - \frac{\rho_3}{\rho_2}\right), \end{aligned}$$

где  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  — плотности жидкости соответственно при  $z=0, d, D$ . В используемых обозначениях

$$\Gamma = \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z} > 0, \quad a_1 = \Gamma,$$

$$a_2 = -\frac{qr^2}{f^2 + q^2} \left(q + \frac{N_0}{\Phi}\right),$$

$$a_3 = \frac{igqr^2}{\omega(f^2 + q^2)}, \quad a_4 = \frac{qr^2 A_0}{(f^2 + q^2) \bar{\rho}},$$

$$N_0 = g\Gamma, \quad r^2 = m^2 + n^2,$$

$q = i\omega + \mu_1 r^2, \quad \Phi = i\omega + K_1 r^2, \quad i = \text{мнимая единица.}$

Если  $a_1$  и  $a_2$  от  $z$  не зависят, то решение уравнения (10) будет иметь вид:

$$U_z^{(1)} = C_1^{(1)} e^{S_1^{(1)} z} + C_2^{(1)} e^{S_2^{(1)} z} \text{ при } 0 \leq z < d, \quad (13)$$

$$U_z^{(2)} = C_1^{(2)} e^{S_1^{(2)} z} + C_2^{(2)} e^{S_2^{(2)} z} \text{ при } d \leq z \leq D, \text{ где}$$

$$\xi_{s1,2}^{(1,2)} = \frac{-a_1 \pm \gamma}{2}, \quad \gamma^{(1,2)} = \left| \sqrt{a_1^2 - 4a_2} \right|,$$

а  $C_1^{(1,2)}, C_2^{(1,2)}$  находятся из граничных условий (11), (12) и приводятся в [6].

Горизонтальные составляющие волновых скоростей с учетом (13) примут вид:

$$U_x^{(1,2)}(z) = \frac{i(qm - fn)}{qr^2} Q^{(1,2)}(z), \quad (14)$$

$$U_y^{(1,2)}(z) = \frac{i(qn - fm)}{qr^2} Q^{(1,2)}(z), \quad \text{где}$$

$$Q^{(1,2)}(z) = C_1^{(1,2)} S_1^{(1,2)} e^{S_1^{(1,2)} z} + C_2^{(1,2)} S_2^{(1,2)} e^{S_2^{(1,2)} z}$$

На основе предложенной модели выполним расчеты ВВ на трех полигонах Эгейского моря при  $A_0 = 100$  Па и сравним с результатами, полученными экспериментально в табл.1. Применяемая в расчетах плотностная стратификация для каждого из трех полигонов приводится на рис.2. Как можно видеть из рис.2 заметные различия плотностной стратификации на указанных полигонах проявляются в верхнем слое от поверхности моря до 50–60 м, глубже 60 м распределения плотности на этих полигонах практически совпадают, несмотря на различия глубин этих районов. Наибольшие глубины характерны для северного полигона 185–800 м, для центрального 220–420 м и наименьшие для южного 80–360 м. Для частоты Вейселя–Брента количественные различия на 3-х полигонах в слое 0–60 м, как можно заключить из рис.2 и [4], следующие: максимальные значения достигаются на 2-м полигоне (33–37 ц/ч на глубинах 12–18 м), несколько меньше на 1-м (23–30

ц/ч, 10–18 м) и самые малые на 3-ем (13–14 ц/ч на глубинах 16–27 м).

По-видимому такие особенности вертикальной структуры плотности должны сказаться и на структуре волнового движения в этих районах. Рассмотрим результаты расчетов ВВ. На всех трех полигонах отмечается существенное проявление первых трех мод ВВ. Причем наиболее значительна у них амплитуда первой моды ВВ. Например, для длины волны 350 м периоды проявляющихся первых трех мод 0.15, 0.36, 0.59 ч., где первая мода достигает амплитуды 0.24 м, а вторая и третья имеют амплитуды значительно ниже (0.06 м, 0.02 м). Подобное соответствие наблюдается и при других длинах и периодах ВВ, возникающих на рассматриваемых 3-х полигонах. Наблюдаемые различия относятся только к величинам амплитудных значений. Различия амплитуд первых двух мод на исследуемых полигонах можно видеть из рис. 3 и 4, где приведены зависимости амплитуд первой (сплошные линии) и второй (штриховые линии) мод ВВ от длины и периода волны; номера у кривых соответствуют номеру полигона. Наибольшие амплитуды первой моды волн в зависимости от длины волны наблюдаются на центральном полигоне, на северном полигоне достигаются несколько меньшие амплитуды и значительно меньше, чем на 1 и 2 полигонах амплитуды южного полигона, рис. 3. При фиксированном периоде наибольшие амплитуды первой моды характерны для 2-го полигона, несколько меньшие для 1-го и на много меньше на 3-м полигоне (рис.4). Если сопоставить экспериментально обнаруженные на 1-м полигоне ВВ с периодом 6 ч и амплитудами 21–26 м с теоретически полученными, то амплитуда

составит 28.5 м (рис.4) при длине волны 19.2 км (рис.3). При таком же периоде на 2-м полигоне амплитуда будет достигать 42.0 м ( $\lambda = 22.6$  км), а на 3-м — 9 м ( $\lambda = 12.5$  км) (рис.4).

Амплитуды ВВ вторых мод на 1-м и 2-м полигонах значительно меньше, чем у первых мод, примерно в 7 раз меньше при фиксированной длине волны и в 18–28 раз меньше при фиксированном периоде волны (рис.3 и 4). А на 3-м полигоне амплитуды волн 2-й моды всего в два раза ниже, чем у первой. Это еще одна особенность 3-го полигона, отличающегося низкими значениями амплитуд волн 1-й моды. Но для второй моды амплитуды в 1.5–2 раза выше, чем на 1-м и 2-м полигонах (рис. 3.,4). Что касается амплитуд 3-й моды, то они в 10–20 раз ниже амплитуд волн 1-й моды и в 3–5 раз ниже значений 2-й моды в исследуемой части Эгейского моря.

Выполненные расчеты параметров ВВ, отсутствующих в полной характеристике волн в табл.1, позволили получить расширенные данные, которые представлены в табл.2.

Из сравнения величин параметров табл. 1 и 2 следует, что расчетные данные ближе к экспериментальным для периодов волн  $\geq 14$ , где различия составляют 7–25%, а для короткопериодных волн различия большие и достигают 25–50%.

Рассматривая волновые движения по полигонам, можно отметить, что наиболее значительные их проявления в исследуемый период наблюдались на центральном полигоне. На северном полигоне, где теоретически возможно волновое движение со значительными амплитудами, таких амплитуд волн не выявлено. Это может свидетельствовать о том, что период исследований был периодом

затишья в генерации волнового движения в этом районе. На южном полигоне интенсивность регистрируемого волнового движения ниже, чем на первом полигоне. Теоретические расчеты подтверждают, что там существуют такие условия, при которых интенсивность волнового движения должна быть ниже, чем на 1-м и 2-м полигонах. Там получены самые низкие значения как амплитуд, так и фазовых скоростей волн. Причем теоретические (0.6 м/с) и экспериментальные (0.56 м/с) значения фазовых скоростей отличаются мало (7%). Наибольших величин фазовые скорости ВВ первой моды достигают на втором полигоне (1.4 м/с), меньше их значения на первом полигоне (0.87 м/с), что на 20% ниже экспериментальных. Эти различия легко проследить, рассматривая углы наклона дисперсионных кривых (рис.5) на исследуемых полигонах. На рис.5 сплошными линиями приводятся дисперсионные зависимости для первой моды, штриховыми — второй моды ВВ, цифры у кривых соответствуют номеру полигона. Полученная на полигоне №3 фазовая скорость 0.25 м/с при  $T = 2.1$  ч (табл.1), повидимому ближе ко второй моде ВВ, что можно видеть из рис.5, где значение фазовой скорости второй моды равно 0.4 м/с. На практическую возможность регистрации второй моды ВВ на полигоне №3 указывают теоретические расчеты, приводимые выше (рис.3,4), дающие для амплитуд волн второй моды значения всего в 2–3 раза ниже, чем у первой моды. На первом и втором полигонах амплитуды высших мод относительно первой малы (в 7–28 раз меньше), поэтому там среди зарегистрированных волн присутствует только первая мода (табл.1).

Рассматривая вертикальную структуру волнового движения на

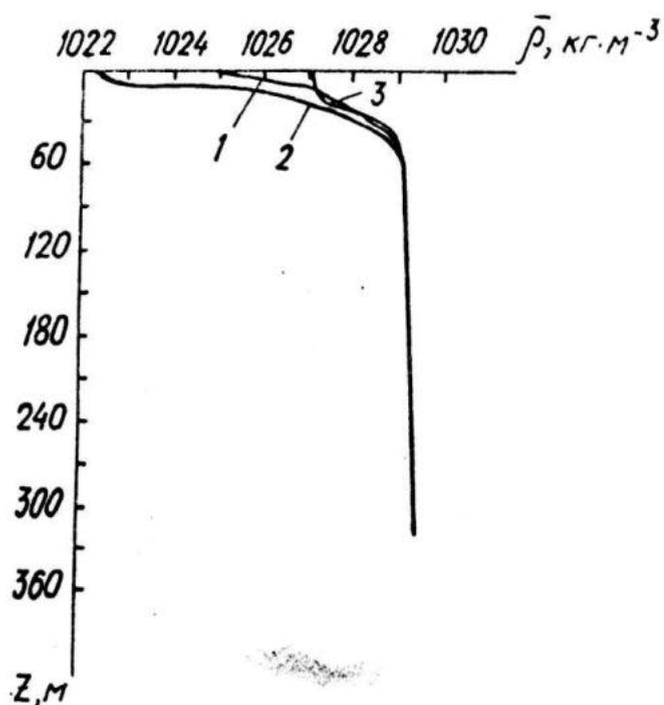


Рис. 2. Вертикальные распределения плотности на полигонах:  
1 — центральном, 2 — северном, 3 — южном.

Таблица 2  
Теоретические величины параметров ВВ на 12-ти галсах  
в северной части Эгейского моря 16—23.07.83 г.

номер галса	период	длина волны, км	амплитуда, м	фазовая скорость, м/с	полигон и типичная станция
1	5 мин	0.26	0.4	0.87	№1 центральный ст.438
2	5—7 мин	0.31—0.37	0.47—0.55	0.87	
3	0.32 ч	≈1	1.2	0.87	
4	7.3 ч	23	34	0.87	
5	6 ч	19.2	28.5	0.87	
6	6 ч	19.2	28.5	0.87	
7	0.15 ч	0.77	0.72	1.4	№2 северный ст.450
8	0.24 ч	1.25	1.15	1.4	
9	0.33 ч	1.67	1.58	1.4	
10					
11	5—6 мин	0.18—0.22	0.20—0.22	0.6	№3 южный ст 461
	0.58—0.65 ч	1.25—1.43	0.85—0.96	0.6	
12	1 ч	2.16	1.2	0.6	
	5.09 ч	11	8.2	0.6	

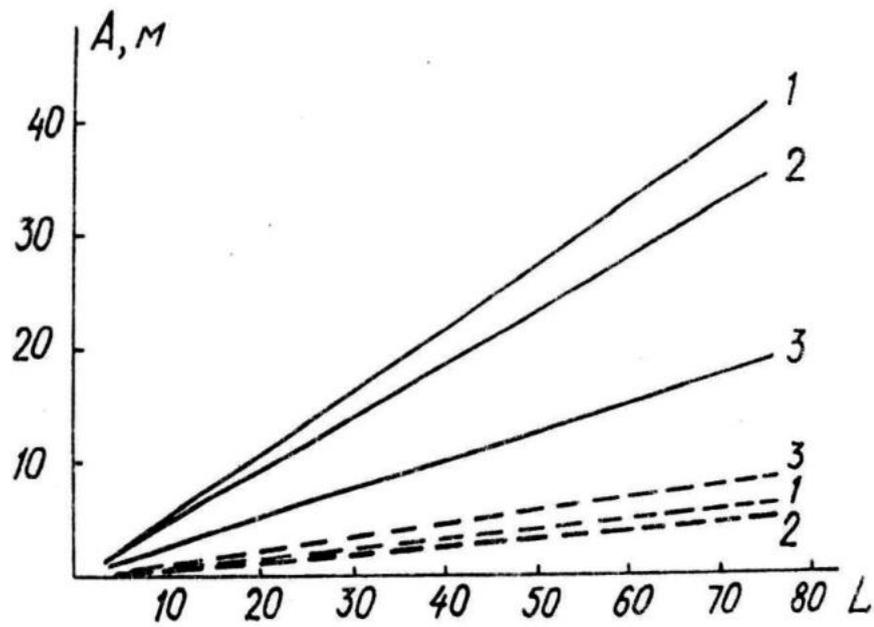


Рис. 3. Зависимости амплитуд первой (сплошные линии) и второй (штриховые линии) мод ВВ от длины волны. Номера у кривых соответствуют номеру полигона.

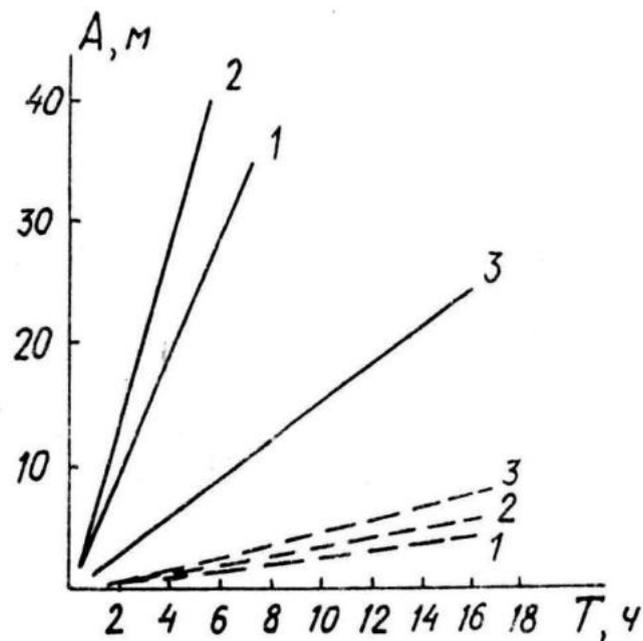


Рис. 4. Зависимости амплитуд первой (сплошные линии) и второй (штриховые линии) мод ВВ от периода волны. Номера у кривых соответствуют номеру полигона.

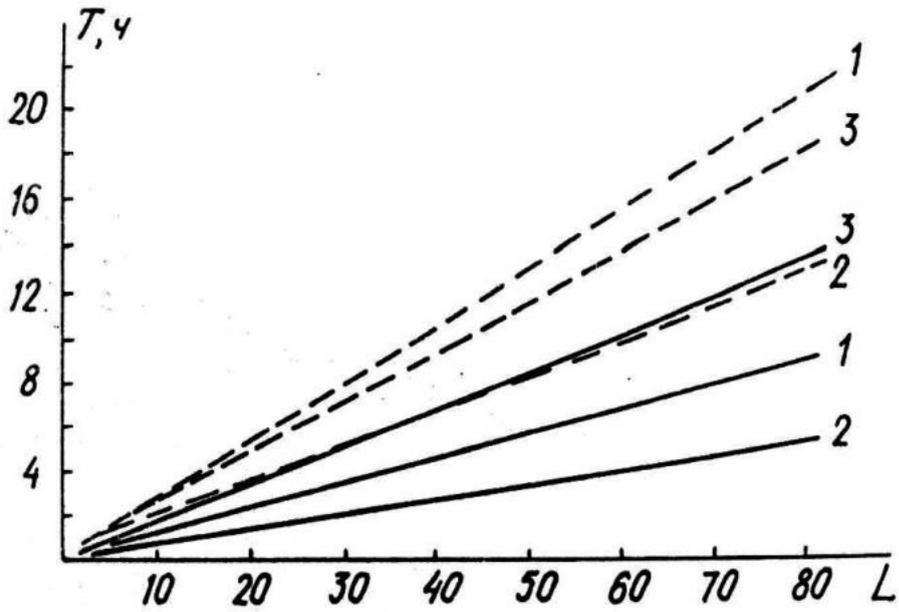


Рис. 5. Дисперсионные кривые первых двух мод ВВ на рассматриваемых полигонах. Сплошные линии соответствуют первой моде ВВ, штриховые — второй, номера у кривых — номеру полигона.

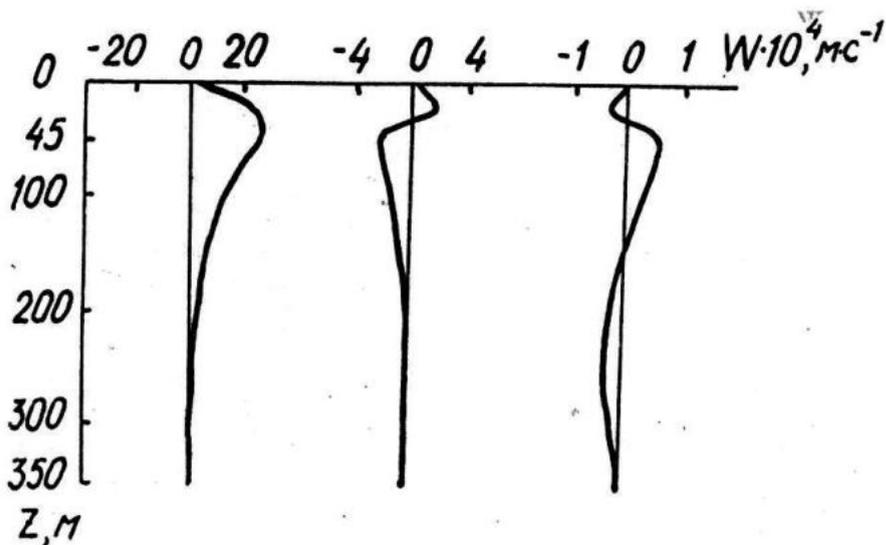


Рис. 6. Характерные распределения вертикальных волновых скоростей по глубине для первых трех мод ВВ.

трех полигонах, можно заключить, что качественно она подобна на всех полигонах, а имеющиеся различия проявляются количественно в величинах амплитуд волн и волновых скоростей. Характерные распределения вертикальных волновых скоростей по глубине для первых трех мод выглядят следующим образом, рис.6, (полигон 1,  $\lambda=0.35$  км,  $T_1=0.15$  ч,  $T_2=0.36$  ч,  $T_3=0.59$  ч). Наиболее существенные по глубине значения вертикальных волновых скоростей иллюстрируемых мод наблюдаются в верхнем слое моря, где максимум этих скоростей и амплитуд волн достигается на границе пикноклина. На полигонах №1 и №2 эта граница составляет  $d=45$  м, а на №3 —  $d=35$  м. На глубинах ниже пикноклина амплитуды волновых колебаний уменьшаются и у дна достигают нуля.

В заключение отметим основные результаты работы.

Исследована возможность возникновения внутриволновых движений на трех полигонах Эгейского моря. Выявлено существование наиболее интенсивного волнового движения на центральном и северном полигонах, где преобладают ВВ первой моды с амплитудами, достигающими 21–26–34 м. Показано, что на южном полигоне интенсивность волнового движения первой моды ниже, чем на других полигонах. Кроме этого его особенность состоит в проявлении существенных значений не только первой, но и второй моды ВВ, имеющей величины амплитуд и скоростей выше, чем на центральном и южном полигонах. Сопоставление теоретических и экспериментальных параметров ВВ показало их достаточно хорошее соответствие.

Теоретически полученные основные характеристики ВВ дополняют отсутствующие параметры по

экспериментальным данным и расширяют волновую изученность района.

## ЛИТЕРАТУРА

1.Иванов В.А., Леонтьев Е.А., Серебрянный А.Н. Пространственная структура внутренних волн в Эгейском море. Мор. гидрофиз. журн., 1986, №6, с.61–64.

2.Ильичев В.И., Меджитов Р.Д., Кожин Ю.П., Рутенко А.Н. Исследование электрических полей внутренних волн на ходу судна. ДАН СССР, 1983, т.270, №2, с.436–439.

3.Блинков В.А., Кукушкин А.С. Характеристики внутренних волн в Черном море и их проявление в электрическом поле приповерхностного слоя/ Процессы формирования и внутригодовой изменчивости гидрофизических и гидрохимических полей Черного моря. — Севастополь, МГИ АН УССР, 1988, с.66–74.

4.Иванов В.А., Кукушкин А.С., Самодуров А.С. Шестой рейс научно-исследовательского судна "Профессор Колесников" в Эгейском и Черном морях (24.06. — 35.08.1983 г.). Океанология, 1985, №2, т XXV, с. 357–361.

5. Кукушкин А.С., Ястреб В.П. Особенности циркуляции поверхностных вод Эгейского моря в летний период/Депон. рукопись №3042–85. — М.: ВИНТИ, 1985. — 14с.

6.Карнаушенко Н.Н., Кукушкин А.С., Пухтяр Л.Д. Электромагнитное поле поверхностных и внутренних волн в непрерывно-стратифицированной жидкости / Депон. рукопись № 4062–В91. — М.: ВИНТИ, 1991. — 20с.

## ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СТОКОВОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Н. П. Булгаков, В. А. Скрипальева,  
Р. А. Ярошина  
Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Распресняющее влияние крупных рек известно уже давно. Несмотря на значительное число районов, где наблюдается подобное явление, и на интересные физические, геохимические, биологические последствия взаимодействия речных и морских вод, в частности, явление "мертвой воды" (анормально высокое сопротивление движению судна за счет внутренних волн, возникающих на границе пресных и соленых вод), детальные физические условия в областях интенсивного речного стока в океаны и моря до сих пор очень плохо изучены. Многообразие гидрологических режимов в данных районах, определяемое соотношением расхода реки, формой и размерами устья, интенсивностью приливного перемешивания, глубиной и протяженностью шельфа, не позволяет построить универсальную теорию данного явления и описать все его стороны, включая фронты.

Известно, что стоковые фронты в океане возникают в тех случаях, когда речные воды, не успев перемешаться с морскими в устье реки, образуют на поверхности океана сравнительно тонкий слой ("линзу") пресных или существенно распресненных вод. Резкие соленостные фронты ограничивают такую линзу вдоль внешней, обращенной к океану, стороны, а под нею образуется резкий вертикальный скачок плотности, подавляющий перемешивание. Соленостные фронты и линзы распресненных вод могут встречаться за сотни километров от берега.

В имеющихся работах, посвященных речному стоку [1-5], говорится о наличии стоковых соленостных фронтов, но

даже не упоминается о таком явлении, как стоковая фронтальная зона, которая может проявляться в различных термохалинных полях и имеет сложную структуру.

Под фронтальной зоной, согласно определению К.Н. Федорова [6], понимается достаточно протяженная область в океане, в которой горизонтальные градиенты термохалинных характеристик резко обострены по сравнению с их среднеклиматическим распределением на одном и том же горизонте и той же широте.

Для определения структуры фронтальной зоны требуется установить ее физико-гидрологические характеристики, а именно: географическое положение, протяженность, ширину на поверхности и любом характерном горизонте, толщину или мощность фронтального слоя, глубину залегания нижней и верхней границ зоны, значения максимальных горизонтальных градиентов термохалинных характеристик внутри зоны и глубину, на которой они наблюдаются.

В данной работе была выделена стоковая фронтальная зона р.Амазонки и определена ее пространственная структура. Это удалось сделать с помощью климатического массива данных температуры и солености [7], приведенных к центрам одноградусных квадратов, путем выявления областей обостренных градиентов термохалинных характеристик, с использованием условного формального критерия  $\gamma$ , предложенного К.Н. Федоровым. Этот критерий представляет собой отношение абсолютного значения горизонтального градиента к его среднеклиматическому значению на одном и том же горизонте.

Методика выделения фронтальных зон в полях термохалинных характеристик подробно изложена в работах [8-12].

Расчет проводился для района Тропической Атлантики, границы которого проходят по экватору и  $20^\circ$  с.ш., а также по  $60^\circ$  з.д. и  $12^\circ$  в.д. Весь район исследования для каждого из 24 горизонтов (от

поверхности до 1500 м) был разбит на 1350 одноградусных квадратов. Плотность рассчитывалась по соотношению Кнудсена [13].

На основе данного массива, от поверхности до 200 м для каждого сезона и от 250 м до 1500 м для среднегодовых полей, вычислялись меридиональные, зональные и максимальные градиенты температуры, солености и плотности, их среднеклиматические значения, а также величины условного критерия  $\gamma$ . Под фронтальной зоной понималась область, в которой  $\gamma \geq 10$ .

В результате исследования получено, что стоковая фронтальная зона р. Амазонки (СФЗА) наблюдается только в полях солености и плотности в весенний и летний сезоны.

Рассмотрим основные особенности ее пространственной структуры.

Поле солености. Весной СФЗА располагается вдоль береговой линии от устья до  $11-12^\circ$  с.ш. Глубина залегания составляет 0–20 м. Протяженность изменяется от 1200 до 1300 м, а ширина от 110 до 550 м в зависимости от направления. Мощность фронтального слоя составляет 10–20 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 41$ ) наблюдается в меридиональном направлении на поверхности. Максимальное значение градиента составляет  $13,69 \cdot 10^{-7} \% \cdot \text{см}^{-1}$  и наблюдается на поверхности в направлении наибольшего роста градиента.

Летом, в отличие от весны, СФЗА принимает форму незамкнутого вихря в районе  $8-14^\circ$  с.ш. Глубина залегания составляет 0–30 м по меридиану и в направлении наибольшего роста градиента и 0–20 м по широте. Протяженность уменьшается до 1000 м, ширина – до 110–330 км. Мощность фронтального слоя увеличивается до 30 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 21$ ) отмечается на поверхности в зональном направлении. Максимальное значение градиента уменьшается до  $4,44 \cdot 10^{-7}$

$\% \cdot \text{см}^{-1}$  (зональное направление, поверхность).

Поле плотности. Весной положение СФЗА совпадает с положением зоны в поле солености. Глубина залегания – 0–20 м по меридиану и широте и 0–10 м в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность изменяется от 1100 до 1200 м, а ширина – от 110 до 440 м в зависимости от направления. Толщина фронтального слоя составляет 10–20 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 58$ ) отмечается на поверхности в зональном направлении. Максимальное значение градиента составляет  $6,96 \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-4}$  (зональное направление, поверхность).

Летом положение и форма СФЗА не изменяются по сравнению с полем солености. Глубина залегания составляет 0–30 м по меридиану, 0–20 м по широте и 0–10 м в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность и ширина уменьшаются до 660–880 м и 110–220 м соответственно. Мощность фронтального слоя составляет 10–30 м в зависимости от направления. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 19$ ) отмечается на глубине 10 м в направлении наибольшего роста градиента. Максимальное значение градиента составляет  $1,33 \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-4}$  (глубина 10 м, направление наибольшего роста градиента).

Установлено, что положение и форма СФЗА не изменяются с глубиной, а другие физико-гидрологические характеристики претерпевают некоторые изменения. Протяженность и ширина в полях солености и плотности весной на глубине 10 м уменьшаются в 1,5–3 раза в зависимости от направления. Летом протяженность на горизонте 10 м возрастает, а ширина остается неизменной. Степень обостренности градиентов весной наибольшая на поверхности ( $\gamma = 41$  в поле солености и  $\gamma = 58$  в поле плотности), а на глубине 10 м наблюдается ее резкое понижение –  $\gamma = 29$  в поле солености и  $\gamma = 17$  в поле плотности. Ле-

том в поле солености степень обострения градиентов с глубиной также уменьшается от  $\gamma = 21$  до  $\gamma = 19$ . В поле плотности наблюдается рост обострения градиентов на глубине – от  $\gamma = 15$  на поверхности до  $\gamma = 19$  на горизонте 10 м.

Таким образом, определены следующие основные особенности проявления стоковой фронтальной зоны:

1. Стоковая фронтальная зона р. Амазонки – это достаточно протяженная область перемешанных амазонских и океанских вод, имеющая квазистационарное положение в верхнем 30-метровом слое с резко обостренными горизонтальными градиентами термохалинных характеристик, проявляющаяся только в полях солености и плотности весной и летом, т. е. имеющая ярко выраженный сезонный характер.

2. СФЗА проявляется весной вдоль берега от устья до  $11-12^\circ$  с.ш., а летом принимает форму незамкнутого вихря в районе  $8-14^\circ$  с.ш.

3. Форма и положение СФЗА с глубиной и в зависимости от выбранного направления не изменяются, изменяясь только от сезона к сезону, а остальные физико-гидрологические характеристики подвержены пространственной и сезонной изменчивости.

4. СФЗА наиболее резко выражена весной в полях солености и плотности на поверхности, а летом в поле солености на поверхности и в поле плотности на глубине 10 м..

5. Значения максимальных градиентов СФЗА весной превышают летние в поле солености в 3 раза, а в поле плотности – в 9 раз.

6. СФЗА практически полностью размывается, а градиенты сглаживаются на глубинах, превышающих 20 м весной и 30 м летом.

7. Соотношение средней толщины (20 м) области распресненных вод и ее средней ширины (200 км) соответствует известной для крупных рек консервативной величине  $10^{-4}$ .

Помимо стоковой фронтальной зоны р. Амазонки в районе исследования была выделена крупномасштабная климатическая фронтальная зона, получившая название в соответствии с ее географическим положением – северо-западная тропическая фронтальная зона (СЗТФЗ) и проявляющаяся в каждом из термохалинных полей.

Рассмотрим основные особенности ее пространственной структуры.

Поле температуры. Зимой СЗТФЗ наблюдается в северо-западной части Тропической Атлантики в районе  $0-19^\circ$  с.ш. Глубина залегания составляет 50-200 м в меридиональном направлении и 75-200 м в зональном и в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность изменяется от 600 до 2000 км в зависимости от направления. Ширина – 110-1200 км. Мощность фронтального слоя – 125-150 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 13$ ) отмечено в слое 75-100 м в направлении наибольшего роста градиента. Максимальное значение градиента составляет  $8,40 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ \text{C} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 125-150 м, направление наибольшего роста градиента).

Весной СЗТФЗ прослеживается в районе  $0-16^\circ$  с.ш. Глубина залегания – 75-200 м. Протяженность – 1800 км. Ширина уменьшается до 110-990 км. Толщина фронтального слоя – 125 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 17$ ) отмечено на глубине 200 м в зональном направлении. Максимальное значение градиента –  $10,56 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ \text{C} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 75-125 м, направление наибольшего роста градиента).

Летом СЗТФЗ проявляется в том же районе, что и весной. Глубина залегания – 100-200 м в меридиональном направлении, 75-200 м в зональном и 100-150 м в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность уменьшается до 500-1700 км в зависимости от направления. Ширина также уменьшается до 110-550 км. Мощность фронтального слоя – 50-125 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 16$ ) отмечено на

глубинах 100-200 м в меридиональном направлении. Максимальное значение градиента —  $9,29 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ \text{C} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 75-200 м, зональное направление).

Осенью СЗТФЗ прослеживается от экватора до  $18^\circ$  с.ш. Глубина залегания — 75-200 м. Протяженность увеличивается до 2000 км. Ширина составляет 110-1100 км. Мощность фронтального слоя — 125 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 17$ ) отмечено на глубинах 100-200 м в меридиональном направлении. Максимальное значение градиента —  $7,52 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ \text{C} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 100-200 м, меридиональное направление).

Поле солености. Зимой СЗТФЗ проявляется в районе  $0-16^\circ$  с.ш. в меридиональном и зональном направлениях и  $7-13^\circ$  с.ш. в направлении наибольшего роста градиента. Глубина залегания составляет 50-200 м по меридиану и широте и 125-150 м в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность — 660-1700 км в зависимости от направления. Ширина — 110-770 км. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 17$ ) наблюдается на глубине 150 м в зональном направлении. Максимальное значение градиента —  $1,01 \cdot 10^{-7} \text{ } \text{‰} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 125-150 м, зональное направление).

Весной, в отличие от зимы, СЗТФЗ смещается к западу и прослеживается в районе  $11-13^\circ$  с.ш. в меридиональном направлении,  $0-13^\circ$  с.ш. в зональном и  $9-15^\circ$  с.ш. в направлении наибольшего роста градиента. Глубина залегания — 75-200 м по меридиану и в направлении наибольшего роста градиента и 125-200 м по широте. Протяженность уменьшается до 300-1400 км, ширина — до 110-550 км в зависимости от направления. Мощность фронтального слоя — 75-125 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 20$ ) отмечено в слое 75-200 м в направлении наибольшего роста градиента. Максимальное значение градиента —  $1,60 \cdot 10^{-7} \text{ } \text{‰} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 75-

200 м, направление наибольшего роста градиента).

Летом СЗТФЗ прослеживается в районе  $15-17^\circ$  с.ш. на глубинах 75-150 м в меридиональном направлении, от экватора до  $9^\circ$  с.ш. в слое 100-200 м в зональном направлении и в районе  $6-16^\circ$  с.ш. на глубине 75 м в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность изменяется от 440 до 1200 км в зависимости от направления. Ширина — 110-330 км. Мощность фронтального слоя — 75-100 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 16$ ) наблюдается на глубине 75 м в направлении наибольшего роста градиента. Максимальное значение градиента —  $0,95 \cdot 10^{-7} \text{ } \text{‰} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 100-125 м, зональное направление).

Осенью СЗТФЗ прослеживается в районе  $13-16^\circ$  с.ш. в меридиональном направлении, от экватора до  $15^\circ$  с.ш. в зональном направлении и в районе  $12-17^\circ$  с.ш. в направлении наибольшего роста градиента. Глубина залегания — 75-200 м. Протяженность изменяется от 550 до 1600 км, ширина — от 110 до 550 км в зависимости от направления. Мощность фронтального слоя — 125 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 14$ ) наблюдается в слое 75-200 м в меридиональном направлении. Максимальное значение градиента составляет  $1,44 \cdot 10^{-7} \text{ } \text{‰} \cdot \text{см}^{-1}$  (слой 100-200 м, направление наибольшего роста градиента).

Поле плотности. Зимой СЗТФЗ прослеживается в районе  $0-18^\circ$  с.ш. на глубинах 50-200 м по меридиану и широте и 50-150 м в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность составляет 1400-2200 км в зависимости от направления. Ширина изменяется от 110 до 2000 км. Мощность фронтального слоя — 100-150 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 33$ ) наблюдается в слое 125-150 м в направлении наибольшего роста градиента. Максимальное значение градиента —  $1,14 \cdot 10^{-7} \text{ } \text{г} \cdot \text{см}^{-4}$

(слой 125-150 м, направление наибольшего роста градиента).

Весной СЗТФЗ наблюдается в районе 0-19° с.ш. на глубинах 50-200 м по меридиану, от экватора до 10° с.ш. в слое 75-200 м по широте и в районе 0-15° с.ш. в слое 100-200 м в направлении наибольшего роста градиента. Протяженность изменяется от 1100 до 2400 км в зависимости от направления. Ширина составляет 110-2000 км. Мощность фронтального слоя — 100-150 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 38$ ) отмечается в слое 100-150 м в направлении наибольшего роста градиента. Максимальное значение градиента —  $2,85 \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-4}$  (глубина 150 м, меридиональное направление).

Летом СЗТФЗ прослеживается от экватора до 15° с.ш. по меридиану, до 12° с.ш. по широте и до 19° с.ш. в направлении наибольшего роста градиента. Глубина залегания составляет 50-200 м в меридиональном направлении и 75-200 м в двух других направлениях. Протяженность — 1300-2400 км, ширина — 110-2000 км. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 47$ ) отмечается в слое 100-150 м в направлении наибольшего роста градиента. Максимальное значение градиента составляет  $2,35 \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-4}$  (слой 100-150 м, направление наибольшего роста градиента).

Осенью СЗТФЗ проявляется в районе 7-16° с.ш. в слое 50-200 м в меридиональном направлении, от экватора до 16° с.ш. в слое 100-200 м в зональном и направлении наибольшего роста градиента. Протяженность изменяется от 990 до 1600 км. Ширина составляет 110-1200 км. Мощность фронтального слоя — 100-150 м. Наибольшее обострение градиентов ( $\gamma = 48$ ) отмечается в слое 100-150 м в зональном направлении. Максимальное значение градиента составляет  $1,65 \cdot 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{см}^{-4}$  (слой 100-150 м, направление наибольшего роста градиента).

Таким образом, выявлены следующие основные особенности проявления климатической фронтальной зоны северо-западной части Тропической Атлантики:

1. Образование сложной формы, значительное по протяженности, ширине и мощности охватываемого слоя.
2. Проявляется в каждом из термохалинных полей во все сезоны в слое 50-200 м.
3. Среднее положение в полях термохалинных характеристик в основном квазистационарно.
4. Физико-гидрологические характеристики зоны (протяженность, ширина, мощность фронтального слоя, максимальное значение горизонтального градиента) подвержены сезонным изменениям.
5. Среднегодовое сезонное положение фронтальной зоны изменяется с глубиной и в зависимости от выбранного направления (меридионального, зонального, наибольшего роста градиента).
6. Наиболее резкое обострение градиентов термохалинных характеристик отмечается в слое 100-200 м.

Проведенный выше анализ позволил установить ряд существенных различий в пространственной структуре стоковой фронтальной зоны (СФЗ) и климатической фронтальной зоны открытого океана (СЗТФЗ):

1. СФЗ прослеживается только в полях солености и плотности в весенний и летний сезоны, т.е. носит ярко выраженный сезонный характер. СЗТФЗ наблюдается в каждом из термохалинных полей в течение всего года.
2. СФЗ выявляется в верхнем 30-метровом слое, в то время как СЗТФЗ отмечается на глубинах 50-200 м.
3. Форма и положение СЗФА не изменяются в зависимости от выбранного направления и глубины, а среднегодовое сезонное положение СЗТФЗ меняется как по глубине, так и по направлению.

4. Максимальные значения горизонтальных градиентов солености и плотности внутри СФЗА на порядок выше значений градиентов термохалинных характеристик СЗТФЗ.

5. СФЗА наиболее резко выражена в слое 0-10 м, тогда как наибольшее обострение градиентов СЗТФЗ наблюдается на глубинах 100-200 м.

Полученные результаты могут быть использованы при математическом моделировании динамических процессов в океане.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ryther J.H., Meuzel D.W., Corwen N. Influence of Amazon River outflow on the ecology of the western tropical Atlantic (1) // J.Mar.Res. - 1967. - 25, №1. - P. 69-83.
2. Amos A.F., Langseth M., Mærd R. Visible oceanic saline fronts // J.Phys. Oceanogr. - 1972. - 1, - P. 49-62.
3. Gade H.G. On some oceanographic observation in the southeastern Caribbean Sea and the adjacent Atlantic Ocean with special reference to the influence of the Orinoco River // Bul. Inst. Oceanogr. - Curacao, Venezuela. - 1961. - 1, №2. - P. 287-342.
4. Garvine R. W. Observations of the motion field of the Connecticut River plume // J.Geophys.Res. - 1977. - 82, №3. - P. 441-454.
5. Ichiye T. On the hydrography near Mississippi Delta // Oceanogr.Mag. - 1960. - 11, №2. - P. 65-78.
6. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. - Л.: Гидрометеондат, 1983. - 269 с.
7. Levitus S., Oort A.H. Global analysis of oceanographic data // Bul. Amer. Met. Soc. - 1977. - 58, №12. - P.1170-1184.
8. Воскресенская Л.А., Скрипалева Е.А., Ярошеня Р.А. Крупномасштабные неоднородности поля температуры Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. - 1995. - №2. - с.43-53.
9. Воскресенская Л.А., Скрипалева Е.А., Ярошеня Р.А. Крупномасштабные неоднородности поля плотности Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. - 1995. - №5. - с.66-72.
10. Воскресенская Л.А., Скрипалева Е.А., Ярошеня Р.А. Крупномасштабные неоднородности поля солености Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. - 1996. - №1. - с.23-34.
11. Воскресенская Л.А., Скрипалева Е.А., Ярошеня Р.А. Крупномасштабные неоднородности поля температуры Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. - 1995. - №2. - с.43-53.
12. Булгаков Н.П., Ярошеня Р.А., Скрипалева Е.А. и др. Термохалинные характеристики крупномасштабных неоднородностей и фронтальных зон Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. - 1998. - №1. - с.26-37.
13. Булгаков Н.П., Ярошеня Р.А., Скрипалева Е.А. и др. Физико-гидрологические характеристики климатических фронтальных зон Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. - 1998. - №4. - с.39-56.
14. Зубов Н.Н. Океанологические таблицы. - Л.: Гидрометеондат, 1957. - 405 с.

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СЕВЕРО- ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Дегтерев А.Х.', Рябинин А.И.",  
Салтыкова Л.В.", Шибасва С.А.",  
Дегтерева Л.Н."'''

- Морской гидрофизический инсти-  
тут НАН Украины  
г.Севастополь, ул.Капитанская, 2  
" Морское отделение Украинского  
Научно-исследовательского  
Гидрометеорологического института  
г.Севастополь, ул.Советская, 61  
''' Севастопольский институт ядерной  
энергии и промышленности  
г.Севастополь-15, ул.Курчатова.

*E-mail: ongf@alpha.mhi.iuf.net*

Изучению химического состава донных осадков в Черном море посвящено много работ [1-4]. Как правило, пробы осадков отбирались донными трубками, заглубляющимися в слой осадков на глубину до 15 м и лишь 2 скважины были пробурены на глубину 1800 м по программе глубоководного бурения в ходе экспедиции 1975 г. на судне "Гломар Челленджер" [3]. Анализ образцов грунта в лабораторных условиях позволяет восстановить климатические условия, существовавшие в бассейне Черного моря во время отложения осадков. Большое значение, также, имеют сведения о геологической структуре дна моря, об имевших место тектонических процессах. В частности, бурение в прибосфорском районе позволило проанализировать историю связи между Черным и Средиземным морями, сделать вывод о резком увеличении глубины моря в прошлом. Кроме того, анализ верхнего слоя осадков позволяет судить о процессах антропогенного загрязнения моря в 20-м веке.

В данной работе приводятся результаты химического анализа кернов, отобранных на шельфе и континен-

тальном склоне в северо-восточной части Черного моря. В южной части моря донные осадки были хорошо изучены в 1987-1990 г.г. в ходе американо-турецких экспедиций [4], а северо-западная часть представляет собой специфический мелководный район.

Отбор проб донных отложений проводился Морской геологической партией "Крымгеология" в 1990 г. по заданию МО УкрНИГМИ (тогда СОГОИН) на 18 станциях, расположенных от Алупки до Анапы. Длина керна, отобранного на отдельной станции, не превышала 3 м. Для проведения анализа они делились, как правило, на 3 части, что позволяло судить об изменении концентрации интересующих веществ в разных слоях донных осадков. Скорость осадконакопления в глубоководных районах Черного моря составляла в прошедшем тысячелетии от 0.1 до 2 мм в год [4], поэтому наибольший интерес для оценки антропогенной нагрузки представляет верхняя часть керна. На шельфе скорость осадконакопления достигает 5 мм/год. На разных станциях толщина верхнего анализируемого слоя осадков варьировала от 0.05 м до 1 м. Однако, нельзя считать, что в каждом керне слои следуют в строго хронологическом порядке. Рассматриваемый район шельфа отличается довольно высокой сейсмичностью [5], что может приводить к переотложению осадков в виде оползней [6] и мутьевых потоков. Кроме того, в отличие от глубоководной части моря здесь велико терригенное поступление осадков, что выражено, в частности, в виде мощных конусов речных наносов в районах впадения рек Кубань и Палеодон. В связи с этим в прикавказском районе следует ожидать, в основном, осадки терригенного происхождения в пределах верхних 3 м.

### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Пробы грунта анализировались на содержание химических элементов в

лаборатории химии моря Морского отделения УкрНИГМИ рентгенорадиометрическим методом и совместно с лабораторией активационного анализа Института ядерной физики АН Узбекистана нейтронно-активационным методом, которые описаны, например, в работе [7]. Погрешность измерения концентрации составляла 5-30%. Результатом анализа являлось абсолютное содержание интересующих химических элементов в исследуемых пробах. Таким образом были получены данные, позволяющие судить о концентрации этих элементов на разных участках дна и об изменении состава осадков с глубиной.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Были проанализированы 40 проб на содержание серы, хлора, калия, кальция, титана, марганца, железа, никеля, брома, рубидия, стронция, иттрия, циркония, молибдена, меди, натрия, урана, золота, кадмия, лантана, мышьяка, церия, ртути, тербия, тория, хрома, гафния, бария, серебра, цезия, скандия, цинка, кодалята, тантала, европия, сурьмы.

В глубоководной части моря (глубина 1500-2200 м) почти на всех станциях отмечается уменьшение хлорности осадков с глубиной. Так, на одной из станций вблизи Алушты (глубина 2000 м) хлорность в верхнем слое осадков толщиной 0.05 м составляет 10.2‰, в слое от 0.05 до 0.9 м - 3.1‰ и в слое 1.3 - 2.5 м она полностью отсутствует. Такое изменение хлорности хорошо согласуется с выводами работы [2] о постепенном осолонении моря после возобновления в голоцене связи со Средиземным морем. Аномальное изменение хлорности в некоторых кернах, отобранных на континентальном склоне, может быть связано с переслоением осадков. Так, на одной из станций в слое толщиной 0.6 м хлорность возростала от 15.1 до 16.8‰. Отсутствие увеличения хлорности с глубиной наблюдается в зоне

речных наносов и вблизи берега, где осадки перекрыты продуктами терригенного происхождения.

Концентрация железа в осадках как правило увеличивается с глубиной, что связано с усилением выветривания в период оптимума голоцена [3]. Причем основное увеличение концентрации железа приходится на верхние 0.1 м колонки осадков, где она увеличивается почти вдвое. Ниже концентрация железа практически не меняется. Максимальное содержание железа в верхнем слое осадков обнаружено в глубоководной части моря, особенно выделяется район Алушты. Вероятно, это связано с повышенной сейсмичностью здесь [5], что приводит к обнажению более древних пород и выходу термальных вод.

Концентрация цинка слабо меняется от станции к станции и по глубине, составляя около 1%. Аномальными в этом смысле являются станции на континентальном склоне вблизи Судака, где на одной из них в слое 1.5 - 2.5 м содержание цинка достигало 2.5%. В Прикавказском районе также обнаружена аномально высокая концентрация - на одной станции здесь в слое 1.2-3.2 м она составила 5%. Как отмечается в монографии [3], содержание в осадках таких металлов, как цинк, кобальт, молибден, никель и ванадий обычно повышено в слоях, относящихся к периоду межледниковья. Однако, в нашем случае максимумы концентрации цинка не сопровождалась повышенными концентрациями кобальта или никеля. Отчасти это объясняется тем, что на большей части станций концентрация цинка была ниже предела обнаружения, а изменчивость концентрации никеля не превышала погрешность измерений.

Концентрация таких металлов, как золото, серебро, кадмий, ртуть, хром, а также мышьяка практически на всех станциях была ниже предела обнаружения.

В связи с зависимостью содержания различных химических элементов

в осадках от глубины залегания (расстояния от дна), из-за разной толщины верхнего слоя керна измеренные концентрации искажают географическую изменчивость распределения металлов на дне моря. В таблице приведены результаты измерений для 10 станций, на которых толщина верхнего слоя керна не превышала 0.5 м. Видно, что концентрации многих элементов хорошо коррелируют с толщиной этого слоя. Для каждого из элементов по этим данным были рассчитаны коэффициенты регрессии для зависимости концентрации элемента  $C$  от толщины верхнего слоя  $h$ :

$$C = a + b \cdot h \quad (1)$$

Полученные таким образом значения коэффициента регрессии  $b$  также приведены в таблице.

Таблица  
Зависимость содержания химических элементов (%) от толщины верхнего слоя

h, м	Fe	Cu	Mn	Ce
0.40	4.57	0.100	0.089	0.0026
0.40	5.29	0.034	0.022	0.0031
0.05	4.07	0.054	0.022	0.0024
0.15	3.38	0.028	0.019	0.0007
0.50	3.89	0.048	0.022	0.0032
0.10	2.18	0.050	0.017	0.0023
0.30	3.02	0.048	0.019	0.0028
0.10	2.46	0.023	0.016	0.0019
0.20	2.93	0.036	0.019	0.0030
0.20	2.62	0.004	0.012	0.0025
$b, \%/м$	3.93	0.058	0.062	0.0028

Отрицательные значения  $b$  для брома и кобальта соответствуют уменьшению их концентрации с глубиной, тогда как концентрация других элементов в среднем возрастает с глубиной в пределах верхних 0.5 м осадков.

Учет зависимости  $C(h)$  позволяет уточнить географическую изменчивость концентрации химических элементов в осадках. Хотя, конечно, для построения карт содержания, например, тяжелых металлов в осадках предпочтительнее отбирать для анализа более тонкие слои одинаковой толщины. Так, в работе [4] анализировались слои керна толщиной 1 см, что позволяет судить даже об антропогенном загрязнении осадков.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Еремеев В.Н., Богуславский С.Г., Жоров В.А. Особенности палеохимии Черного моря в эпоху вюрмского оледенения//Морской гидрофизический журнал, 1995, 2. - С.66-77.
2. Еремеев В.Н., Богуславский С.Г., Жоров В.А. Особенности палеогидрологии Черного моря в различные геологические эпохи//Морской гидрофизический журнал, 1994, 4. - С.28-36.
3. Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения//Под ред. Ю.П.Непрочнова. - М.: Наука, 1980, - 202 с.
4. Duman M., Duzbastilar M.K., Konuk Y.T. Late quaternary geological evolution of the southern Black Sea basin//Problems of the Black Sea. - Sevastopol: Ecossea-Hydrophysics, 1992. - P.150-160.
5. Лустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко А.С., Поречнова Е.И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма(ОСР-98)//Геофизический журнал, - 1999, т.21, 6. - С.3-15.
6. Казанцев Р.А., Кругляков В.В. Гигантский оползень на дне Черного моря//Природа, - 1998, 10. - С.86-87.
7. Дегтерев А.Х., Рябинин А.И., Филиппов Е.М. Ядернофизические методы в океанографии. - М.: Гидрометеоиздат, 1991. - 270 с.

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ  
ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В  
ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО  
МОРЯ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К БЕРЕГАМ  
УКРАИНЫ**

Е.А. Агафонов, А.С. Кукушкин,  
Ю.А. Прохоренко  
Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2.  
E-mail: [ocean@alpha.mhi.iuf.net](mailto:ocean@alpha.mhi.iuf.net)

Одной из наиболее информативных характеристик водной среды является показатель ослабления света (ПОС). Именно этот первичный гидрооптический параметр зависит от гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и гидродинамических процессов, происходящих в водах морей и океанов.

В прибрежной зоне на величину и распределение ПОС на поверхности в водной толще оказывает влияние эрозия берегов, речной сток, залповые сбросы взвешенного материала, развитие фитопланктона, антропогенные факторы и, наконец, взмучивание придонной взвеси ветровыми волнами, течениями и сгонно-нагонными движениями вод. Последние, в свою очередь, тесно связаны с метеорологическими условиями.

Оптические свойства вод определяют глубину проникновения и спектральный состав естественной дневной радиации, поступающей в море, что оказывает существенное влияние на условия развития биологической жизни в море. Фотохимические реакции протекают только при наличии солнечной энергии, определяющей развитие первичной продукции, служащей основой пищевой цепи в морях и океанах.

Шельфовая зона Черного моря является одним из районов Мирового океана, где интенсивно осваиваются природные ресурсы. Акватории, прилегающие к берегам Украины, нуждаются

в разработке экологических прогнозов для оценки результатов взаимодействия человека с морем. Изучение пространственно-временной изменчивости прозрачности вод играет большую роль в выработке основ экологической диагностики таких зон.

Авторами ранее был проведен всесторонний анализ многолетних наблюдений ПОС на трассах различной ориентации в шельфовых и прибрежных поверхностных водах Черного моря, прилегающих к берегам Украины от Керченского пролива до дельты Дуная, в различные сезоны года [1-5]. В результате анализа получено достаточно подробное представление о распределении прозрачности вод на исследованных акваториях моря. Кроме того, одновременные наблюдения различных гидрофизических (температура, соленость, поверхностные течения) параметров и ветровых условий в СЗЧМ позволили установить влияние динамики вод в различные сезоны на формирование поля прозрачности, а также наблюдать по оптическим характеристикам особенности распространения трансформированных речных вод в этом районе моря.

Основные результаты проведенных работ можно свести к следующим обобщениям.

Наиболее прозрачные воды, характеризующиеся незначительным изменением ПОС в осенний и зимние сезоны в различные годы, зарегистрированы вдоль западного, южного и юго-восточного берегов Крыма. Прозрачность этих вод близка к прозрачности вод открытого моря. При приближении к Керченскому проливу она уменьшалась, что, видимо, связано с влиянием азовоморских вод. Отдельные участки мутных вод отмечались в районах курортных и портовых городов, что подтверждалось повышенным содержанием суммарной взвеси в этих районах.

Наиболее мутные воды регистрировались вдоль западного берега в северо-

западной части Черного моря (СЗЧМ) в районе гидрофронта, где происходит смешение больших объемов трансформированных речных вод Днепра, Днестра и Дуная, несущих значительное количество взвешенного материала. В осенний период, когда сток рек минимален, воды пониженной прозрачности находились вблизи берега и только из района, прилегающего к приустьевой зоне Дуная, отмечено распространение их в центральную область СЗЧМ, которое вызывалось антициклоническим динамическим образованием, наблюдавшимся в районе работ.

В зимний сезон гидрофронт находился дальше от берега и характеризовался значительной изменчивостью показателя ослабления и температуры вдоль западного берега. Было выявлено, что распределение ПОС и температуры во вдольбереговом течении имеет квазиволновой характер, с характерным пространственным масштабом около 16 миль. При этом местоположение мутных ("холодных") и более прозрачных ("теплых") вод в оба сезона совпадали, что, видимо, связано с идентичностью факторов, формирующих структуру этих полей. Одним из основных факторов является прерывистый характер поступления больших по объему масс холодных речных вод в СЗЧМ из Днепро-Бугского и Днестровского лиманов и связанное с этим усиливающееся меандрирование вдольберегового течения.

Установлено, что пространственные зоны, связанные с процессами трансформации речных вод в морские, отличаются не только по солености, температуре и концентрации органической компоненты взвеси, но и по значениям показателя ослабления света в поверхностном слое вод. Наиболее мутные воды зафиксированы в гидрофронтальной зоне. Основная зона трансформации, расположенная вблизи устьев рек, практически не была охвачена измерениями. Величина показателя ос-

лабления в ней выходила за пределы измеряемого диапазона ПОС.

На зональных разрезах в северном районе СЗЧМ определены три характерных участка изменчивости прозрачности и температуры - западный, который определялся днепровскими водами, восточный - водами северо-восточного направления из района Тендровской косы и промежуточный, находившийся между ними, где изменения гидрофизических характеристик незначительны.

Установлено, что трансформированные речные воды распространяются из СЗЧМ на юг не только вдольбереговым течением, в структуре которого в приустьевом районе Дуная и в районе Румынии зарегистрированы антициклонические вихри, но и во время весеннего половодья они выносятся на восток, а далее захватываются антициклоническими вихрями, существующими в области материкового склона справа от ОЧТ и переносятся в зоне конвергенции к берегам Болгарии.

Таким образом, даже краткое изложение основных результатов работ говорит о расширении возможностей интерпретации гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических данных и динамических характеристик района при привлечении для анализа гидрооптических параметров среды.

Для экспрессного и качественного контроля окружающей среды при проведении мониторинга в прибрежных водах Черного моря, прилегающих к берегам Украины, необходимо знать количественные значения показателя ослабления света. Вместе с тем знание количественных параметров ПОС может быть использовано при решении вопросов, связанных с конструированием измерительной гидрооптической, подводной фото- и телеаппаратуры, определением видимости под водой, и необходимо в качестве одной из входных переменных при разработке модели экосистемы шельфа.

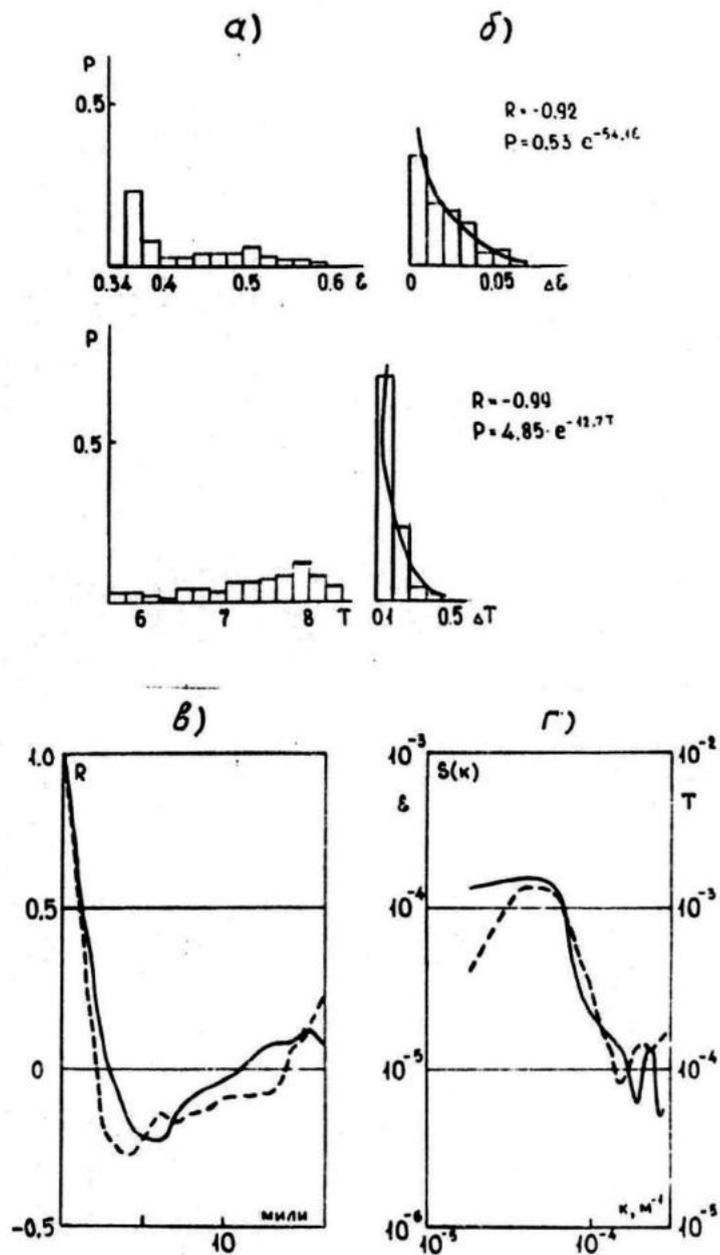


Рисунок. Пример результатов вычисления гистограмм абсолютных значений  $\epsilon$  и  $T$  (а); гистограмм и их аналитических выражений для градиентов  $\epsilon$  и  $T$  (б); корреляционных функций  $\epsilon$  (сплошная линия) и  $T$  (штриховая линия) (в); спектров  $\epsilon$  и  $T$  (г).

Статистические оценки показателя ослабления света ( $m^{-1}$ ) и его градиентов для различных сезонов года в прибрежной зоне Украины (1979-1984 г.г.)

Расположение трасс измерений	Диапазон измерения $m^{-1}$	Диапазон наиболее вероятных значений $\varepsilon m^{-1}$	Диапазон изменения градиентов $\Delta\varepsilon, m^{-1}/миля$	Распределения вероятности градиентов $\Delta\varepsilon, m^{-1}/миля$	Характерный размер оптических неоднородностей, мили
<b>Северо-западная часть Черного моря</b>					
<b>3 рейс «Ай-Тодор» 7-11.06.79</b>					
по 44° 40' с.ш.	0,23-0,5	0,27-0,28	0-0,07	$P=0.3\exp(-74\Delta\varepsilon)$	—
по 45° 00' с.ш.	0,23-0,34	0,32-0,33	0-0,06	$P=0.42\exp(-12\Delta\varepsilon)$	—
по 45° 20' с.ш.	0,26-0,5	0,32-0,33	0-0,12	$P=0.2\exp(-61\Delta\varepsilon)$	—
по 45° 40' с.ш.	0,27-0,46	0,38-0,39	0-0,1	$P=0.21\exp(-58\Delta\varepsilon)$	—
<b>97 рейс «Муксун» 10-23.11.83</b>					
по 44° 20' с.ш.	0,22-0,44	0,34-0,36	0-0,06	$P=1.14\exp(-108\Delta\varepsilon)$	—
по 44° 40' с.ш.	0,42-0,56	0,42-0,44	0-0,06	$P=0.85\exp(-95\Delta\varepsilon)$	2,5
по 45° 00' с.ш.	0,4-0,66	0,42-0,44	0-0,06	$P=0.52\exp(-59\Delta\varepsilon)$	1,25
по 45° 20' с.ш.	0,12-0,2	0,14-0,18	0-0,05	$P=0.72\exp(-92\Delta\varepsilon)$	2
по 45° 40' с.ш.	0,24-0,34	0,26-0,28	0-0,02		2,5
<b>99 рейс «Муксун» 28.02-15.03.84</b>					
по 44° 20' с.ш.	0,34-0,54	0,38-0,4	0-0,06	$P=0.76\exp(-72\Delta\varepsilon)$	1,3
по 44° 40' с.ш.	0,34-0,5	0,38-0,42	0-0,06	$P=0.71\exp(-22\Delta\varepsilon)$	0,4
по 45° 00' с.ш.	0,36-0,46	0,38-0,4	0-0,04	$P=0.76\exp(-67\Delta\varepsilon)$	1,25
по 45° 20' с.ш.	0,28-0,46	0,4-0,42	0-0,04	$P=0.77\exp(-92\Delta\varepsilon)$	1,25
по 45° 40' с.ш.	0,36-0,66	0,38-0,48	0-0,05	$P=0.58\exp(-67\Delta\varepsilon)$	0,4
Одесса – Севастополь	0,34-0,66	0,36-0,38	0-0,05	$P=0.53\exp(-54\Delta\varepsilon)$	2,5
<b>Крымское побережье</b>					
<b>3 рейс «Ай-Тодор» 7-11.06.79</b>					
м. Херсонес – Железный Рог	0,12-0,17	0,12-0,14	0-0,05	$P=0.89\exp(-23\Delta\varepsilon)$	3
<b>45 рейс «Муксун» 10-16.03.78</b>					
Кацивели – Керченский пролив	0,16-0,27	0,18-0,2	0-0,04	—	—
<b>52 рейс «Муксун» 24.11-05.12.78</b>					
Фрунзенское – Керченский пролив	0,2-0,28	0,2-0,22	0-0,02	—	3,4

Для получения экспериментальных распределений в разные годы и различные сезоны весь массив данных был подвергнут первичной обработке и представлен в виде рядов случайных величин, соответствующих определенным координатам. Далее по общепринятым методикам были рассчитаны гистограммы абсолютных значений показателя ослабления света и его градиентов и получены аналитические выражения, аппроксимирующие экспериментальные распределения градиентов ПОС для конкретных буксировок.

Теоретическая кривая, наилучшим образом описывающая статистическое распределение градиентов показателя ослабления и температуры, во всех случаях представлена падающей экспонентой с различными значениями параметров, входящих в формулу. Рассчитаны корреляционные функции и функции спектральных плотностей распределения оптических неоднородностей по размерам.

В качестве иллюстративного примера для показателя ослабления света и температуры на переходе между портами Одесса и Севастополь приведен рисунок, где все указанные характеристики представлены в графическом изображении.

Все сведения о статических оценках оптических неоднородностей в исследованных районах приведены в таблице.

Характерный размер оптических неоднородностей определялся по значению первого нуля корреляционной функции.

Полученные данные предназначены для использования основных параметров экспериментальных распределений показателя ослабления света при анализе и прогнозе экологической ситуации, а также могут найти применение при решении прикладных теоретических задач, связанных с использованием многолетних количественных данных по распределению прозрачности мор-

ских вод в прибрежных районах Черного моря.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов Е.А., Каминский С.Т., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Сезонные комплексные исследования гидрофизических характеристик в северо-западной части Черного моря // Деп. рукопись N 2919-B96.-М.:ВИНИТИ, 1996.-27с.

2. Агафонов Е.А., Каминский С.Т., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Пространственная структура и изменчивость полей течений, показателя ослабления света и температуры в поверхностном слое северо-западной части Черного моря.//Морской гидроф. журнал, 1998, N 4, с.57-69.

3. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Особенности распределения показателя ослабления света в поверхностном слое черноморских вод прибрежной зоны Украины в осенний и зимний периоды.//Сб.научных трудов "Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа". Севастополь: МГИ НАНУ, 1999, с.138-148.

4. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Исследование распространения речных вод в северо-западной части Черного моря в весенний гидрологический сезон.// Метеорология и гидрология, 2000,N8, с.93-101.

5. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Многолетние наблюдения пространственно-временной изменчивости прозрачности в поверхностных водах северо-западной части Черного моря и прилегающих к берегам Крыма.//Сб. научных трудов "Системы контроля окружающей среды". Севастополь: МГИ НАНУ, 2000, с. 265-270.