

# СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г.В. Смирнов, В.Н. Еремеев, М.Д. Агеев, Г.К. Коротаев,  
**В.С. Ястребов**, С.В. Мотыжев

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г.Москва,  
Нахимовский пр-кт, д.36, тел 124-59-58

В статье представлено современное состояние океанологических исследований в СНГ, их соответствие мировым тенденциям, обсуждены перспективы развития техники и методологии океанологических исследований и возможные пути практического приложения новых технологий для создания системы контроля состояния океана.

Дан обзор современных методов наблюдений в океане, включая дистанционное зондирование, использование свободно-дрейфующих буев, автономных буйковых станций, донных станций и обсерваторий, обитаемых и необитаемых подводных аппаратов, анализируется роль и место судовых наблюдений в современных условиях, включая организацию наблюдений на попутных судах.

На примере исследований, проведенных в Черном море, демонстрируется приложение современных методов наблюдений для создания, функционирующей в режиме времени близком к реальному, системы мониторинга состояния океанического бассейна.

## 1. Введение

Физическая океанография за последние пятьдесят лет претерпела невероятную качественную трансформацию. Накопленная географическая информация о состоянии океана и интенсивное внедрение математических методов в практику океанологических исследований к концу сороковых – началу пятидесятих годов прошедшего века привело к созданию физических основ теории океанической циркуляции и окончательному ее становлению как физической науки. Развитие новых технологий наблюдений за состоянием океана в 60-70-е годы, ознаменовавшееся созданием новых зондов и измерителей течений для наблюдений скорости, температуры и солености морской воды в широком диапазоне пространственно-временных масштабов, а также прогресс в осуществлении долговременных буйковых постановок, позволили создать

качественно новые представления об океане. В 70-80е годы на основе новых измерений была построена классификация процессов, определяющих изменчивость океана, и созданы физические и математические модели этих процессов [1].

Наконец, 80-90е годы ознаменовались революционными изменениями в области методов и средств наблюдений океана, среди которых отметим развитие и внедрение в океанографическую практику долговременных измерений со свободно-дрейфующих и заякоренных буев, обитаемых и необитаемых подводных аппаратов и осуществление регулярных дистанционных наблюдений океана из космоса [2]. В комплексе с глубоким физическим пониманием динамики океана, реализовавшимся в высокоточных моделях его циркуляции и бурным совершенствованием вычислительной техники, новые методы и средства океанологических наблюдений дают новое качество современной океанологии.

Дистанционное зондирование океана из космоса, регулярные наблюдения с попутных судов и автономных платформ разного рода позволяют создавать системы диагноза и прогноза морской среды, аналогичные метеорологическим системам прогноза погоды с использованием современных компьютеров, численных моделей океанических процессов и методов ассимиляции наблюдений [3]. Такие системы дают возможность оптимальным образом интегрировать разнородные измерения и представлять в удобной форме непрерывную эволюцию океанических полей с достаточно высокой точностью, что позволяет повысить эффективность промышленного освоения океана и создать научно-обоснованную базу реализации природоохранных мероприятий.

Новые технологии существенно изменяют и саму методологию проведения исследований океана. Океанические процессы с пространственными масштабами более десятка километров и временными масштабами более суток, при правильной организации наблюдательной сети и с использованием новейших технологий наблюдений и моделей океанической динамики, эффективно воспроизводятся в режиме времени, близком к реальному. В силу этого появляется возможность проведения междисциплинарных экспериментов и исследований мелкомасштабных процессов в контролируемых фоновых условиях.

Современный облик средств и методов океанологических исследований в значительной мере формировался специалистами СССР. Заложенные в 70-80 годы принципы развития океанологического приборостроения и новых методов наблюдений

успешно развивались и реализовывались ведущими исследовательскими океанологическими центрами Академиями Наук России и Украины в течение последнего десятилетия несмотря на существенные экономические трудности. Развитые к настоящему времени методы и средства океанологических исследований в России и Украине являются взаимодополняющими и позволяют строить эффективные многокомпонентные системы мониторинга морской среды в широком диапазоне пространственно-временных масштабов.

В настоящей статье представлен краткий обзор современных технологий наблюдений океана от поверхностных слоев до его глубин и первый опыт мониторинга морской среды в режиме времени близком к реальному.

## **2. Методы наблюдений**

Одним из важнейших новых направлений современной наблюдательной океанографии является использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) для наблюдений океана. Современная аппаратура дистанционного зондирования позволяет проводить регулярные наблюдения в широкой полосе с высоким пространственным разрешением, что делает возможным обновлять наблюдения с высокой частотой. Точность дистанционных измерений вполне соответствует требованиям океанологической практики. В силу этого дистанционное зондирование из Космоса рассматривается как основной источник непрерывно поступающей информации о Мировом Океане и его изменчивости [4].

Другое направление практического использования ИСЗ в качестве средства связи, основы современных навигационных систем и ретранслятора информации также нашло эффективное приложение в океанографии. Измерения с различного рода платформ, располагающихся зачастую в удаленных частях океана, ретранслируются с помощью ИСЗ непосредственно в центры сбора данных в режиме реального времени. Весьма эффективным в океанографии оказалось использование свободно-дрейфующих платформ [5, 6].

Автономные океанологические станции (АОС) стали активно внедряться в практику океанологических исследований вместе с развитием электроники и автоматики, когда стало возможным создание компактных и надежных устройств для автоматической записи информации и ее передачи на береговой пункт сбора данных в реальном масштабе времени. К преимуществам применения АОС прежде всего относится возможность непрерывного получения информации о состоянии выбранного участка водной толщи за

длительный (достигающий нескольких лет) период, в том числе в реальном времени, что невозможно осуществить другими способами. Основными типами АОС являются автономные буйковые станции, автономные донные станции и автономные подводные исследовательские обсерватории [7].

За последние два-три десятилетия в различных странах, занимающих ведущее положение в области морских технологий, было создано значительное число автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), использующихся для решения широкого круга научных и прикладных задач по исследованию и освоению океана [8]. Современные многоцелевые АНПА представляют собой новый класс подводных робототехнических объектов с присущими им задачами и практическими применениями, особенностями технологии, составом систем и функциональными свойствами. К числу наиболее актуальных применений современных АНПА можно отнести обзорно-поисковые работы, включая поиск и обследование затонувших объектов, инспекцию подводных сооружений и коммуникаций (трубопроводов, водоводов, кабелей), геологоразведочные работы, включающие топографическую и фото-видеосъемку морского дна, акустическое профилирование и картографирование рельефа, подледные работы, такие как прокладка кабеля на Арктическом дне, обслуживание систем наблюдения и освещения подледной обстановки, океанографические исследования, мониторинг водной среды, работы военного назначения, включающие, в частности, противолодочную разведку, патрулирование, обеспечение безопасности объектов военной техники, обследование минных полей.

Сравнительно новой компонентой информационной системы при проведении экспериментальных исследований в океане являются обитаемые подводные аппараты, создание которых ознаменовало появление принципиально нового средства изучения океана. Подводные аппараты используются при проведении работ на дне и в придонном пространстве, таких, как поиск и обследование затонувших объектов, контроль состояния подводных коммуникаций и инженерных сооружений, геологоразведочные работы (картографирование и профилирование дна, фото- и видеосъемки), манипуляционно-технические и аварийно-спасательные работы, подводные монтажно-прокладочные работы, исследования Мирового Океана [9].

Активное развитие наблюдений со свободно-дрейфующих буев началось в 80-х, когда было осознанно, что этот метод позволяет проводить измерения оперативно и в глобальном масштабе. К

настоящему времени широкое распространение получили свободно- дрейфующие поверхностные буи (дрифтеры) разных типов и буи - профилемеры. Свободно- дрейфующие поверхностные буи измеряют температуру и прозрачность морской воды, а также атмосферное давление. Будучи снабженные специальным парусом, они позволяют измерять скорость приповерхностных течений. Специализированные метеорологические дрифтеры способны наблюдать основные характеристики приповерхностного слоя атмосферы.

Особо эффективным средством для исследования крупномасштабной низкочастотной изменчивости океана являются буи-профилемеры [10]. Эти буи осуществляют вертикальные перемещения в толще вод посредством изменения их плавучести. Каждый буй способен совершить значительное число циклов всплытие-погружение, осуществляя долговременные наблюдения течений и регулярные измерения профилей температуры и солености морской воды. Позиционирование свободно- дрейфующего буя и передача данных осуществляется через спутник, что позволяет разворачивать глобальные сети таких средств любой конфигурации.

Океанографические наблюдения с судов в течение длительного времени являлись основным источником информации о процессах протекающих в Мировом океане. Однако, в настоящее время, когда появились принципиально новые средства и методы проведения экспериментальных исследований в океане, ситуация в корне изменилась. В настоящее время общая характеристика гидрологических условий в районе работ может быть получена на основе наблюдений другими компонентами наблюдательной системы, описанными выше и появляется возможность проводить комплексные судовые исследования в широком диапазоне пространственно- временных масштабах при полностью контролируемых фоновых условиях.

Одним из эффективных методов организации регулярных наблюдений является использование коммерческих судов или паромов в качестве платформ для размещения океанографических приборов [11]. При наличии автономных средств наблюдений и спутниковых каналов передачи информации, накопление метеорологических и наблюдений в открытом океане оказывается возможным при минимальном вложении средств. Используя суда, работающие по расписанию, удастся проводить гидрометеорологические наблюдения на регулярной основе.

Новые широкие возможности проведения наблюдений полей океана составляют основу современных подходов к организации

океанологических исследований.

### **3. Океанологические приборы многокомпонентной системы исследования океана**

На Украине и в России в конце прошлого столетия получил широкое распространение модульный принцип построения океанологических измерительных приборов и других технических средств экспериментальных исследований океана [12], что является закономерным результатом развития в наших странах научного приборостроения в других областях знаний и интенсивного развития элементной базы радиоэлектроники. При проектировании измерительных приборов модульной конструкции были проведены работы по унификации в четырех направлениях:

Первое - проектирование первичных измерительных преобразователей параметров морской воды для создания параметрических рядов с таким конструктивным исполнением, которое позволит использовать их при компоновке модульных систем;

Второе - проектирование и унификация измерительных преобразователей и систем передачи информации в бортовое устройство, т.е. практически создание унифицированного модуля измерительного канала;

Третье - проектирование бортовых управляющих устройств на основе стандартных ЭВМ. Создание программного обеспечения работы информационно-измерительных комплексов;

Четвертое - проектирование унифицированных конструкций, погружаемых и бортовых устройств измерительных комплексов.

Первичные измерительные преобразователи (датчики) океанологических параметров в значительной степени определяют метрологические и технические характеристики океанологических измерительных приборов и комплексов. Они преобразуют измеряемый параметр в электрический сигнал и относятся к категории контактных, т.е. располагаемых непосредственно в исследуемой среде. При этом влияние преобразователей на исследуемую среду должно быть минимальным.

Основные требования к океанологическим первичным измерительным преобразователям можно объединить в три группы:

Метрологические:

- наличие определенной и однозначной зависимости между выходной и входной величинами;
- стабильность характеристик во времени при изменениях условий окружающей среды;



- высокая чувствительность к изменениям контролируемых параметров;
- быстрое и пространственное разрешение, соответствующие масштабу исследуемого процесса;
- минимальное возмущение полей измеряемых параметров; малая чувствительность к неинформативным параметрам.

#### Эксплуатационные:

- высокая надежность и длительный срок службы;
- высокая перегрузочная способность;
- устойчивость к различного вида воздействиям среды (механическим, термическим, химическим, биологическим и др.);
- удобство обслуживания и метрологической аттестации.

#### Технологические:

- пригодность конструкции к изготовлению на имеющемся оборудовании при наименьших затратах;
- невысокую стоимость применяемых материалов и комплектующих изделий;
- малые массы и габаритные размеры.

При производстве большого количества разнообразной океанологической техники одной из важнейших задач решаемых проектировщиками является задача ее унификации. Не будет преувеличением сказать, что базой для такой унификации является унификация первичных измерительных преобразователей.

Наиболее высокой степенью унификации для первичных измерительных преобразователей следует считать создание совокупности первичных измерительных преобразователей какого-либо параметра, структурные и конструктивные элементы которого являются производными от одной конструкции, выбранной за базу. Параметрические ряды построены на основе общих требований к первичным измерительным преобразователям и особенностей измерения исследуемых параметров, данные об изменчивости которых определяют полные рабочие диапазоны, перекрываемые всеми первичными измерительными преобразователями соответствующих параметрических рядов. Число единиц каждого ряда и предварительное очерчивание границ применения каждого отдельного преобразователя необходимо выбирать с учетом специфических требований, возникающих при измерениях в различных областях спектра изменчивости исследуемого параметра. Все преобразователи ряда должны быть унифицированы по присоединительным узлам и по выходным сигналам.

Значительную роль в процессе унификации имел выбор метода

проектирования. С учётом специфики проектирования океанологической аппаратуры наиболее эффективным был признан метод агрегатированного построения измерительных комплексов на базе радиоэлектронной аппаратуры в модульном исполнении. Такой метод позволил более чётко определить типовую структуру океанографических измерительных комплексов, разработать единые требования к электрическим и конструктивным стыковочным параметрам модулей, определить поузловой состав измерительных комплексов и перечень параметров для каждого функционального узла.

Неотъемлемой частью работ при проектировании и изготовлении океанологических измерительных приборов является метрологическое обеспечение.

Метрологическая аттестация океанологических измерительных комплексов, построенных по модульной (агрегатированной) схеме дополнительно к аттестации измерительных каналов отдельных параметров, требует учёта назначения прибора, вида измерений и методики или способа его применения.

По используемому виду измерений океанографические измерительные комплексы делятся на средства прямого, косвенного и смешанного измерения. Это разделение введено для решения задачи по выбору оптимального состава комплекса как по параметрам измерительных каналов, так и по их метрологическим характеристикам, ибо при косвенном и смешанном измерениях необходимо выбрать оптимальные метрологические характеристики отдельных измерительных каналов и произвести оценку погрешностей, вносимых при расчётах вторичных, косвенно измеренных параметров.

Решение всех перечисленных вопросов позволило, комплектуя информационно-измерительный океанологический комплекс, построенный по модульному (агрегатированному) принципу, получать требуемые метрологические характеристики, как по параметрам прямого измерения, так и по косвенно измеряемым параметрам.

Организовано производство зондирующих, буксируемых, автономных и специальных измерительных океанологических приборов, многоканальных автономных буйковых станций различных модификаций, дрейфующих буюв, донных станций и донных обсерваторий. Все эти приборы комплектуются унифицированными элементами: первичными измерительными преобразователями, прочными корпусами, узлами герметизации, герметичными вводами и соединителями.



Отметим, что проектирование океанологических измерительных приборов и технических средств экспериментальных исследований в океане, построенных по модульному агрегатированному принципу, не является монополией одного конструкторского бюро или учреждения, а получило очень широкое распространение. В настоящее время унифицированными первичными измерительными преобразователями, прочными корпусами, разъемными соединениями, герметичными кабельными вводами и другими унифицированными элементами конструкции комплектуются зондирующие, буксируемые, автономные и специальные океанологические измерительные приборы, автономные необитаемые подводные аппараты, научная аппаратура обитаемых подводных аппаратов.

Анализ технического уровня океанологического приборостроения в странах СНГ и других странах говорит, что существенного различия в технических характеристиках океанологических приборов не наблюдается.

#### **4. Система диагноза и прогноза полей Черного моря**

В качестве иллюстрации применения многокомпонентной системы сбора экспериментальных данных, на примере исследований проведенных в Черном море, рассмотрим приложение современных методов наблюдений для создания, функционирующей в режиме времени близком к реальному, системы мониторинга состояния океанического бассейна [13].

Умение контролировать и прогнозировать состояние морской среды и ресурсов является важной проблемой для стран черноморского бассейна. Последнее время дало немало примеров того, как недостаточное развитие прогнозов морской среды приводило к значительным финансовым потерям. Можно отметить сокращение рекреационного потенциала Черноморского побережья в силу загрязнения морской воды, катастрофические воздействия штормов, сопровождавшиеся огромным материальным ущербом на побережье и гибелью судов, размывание берегов моря связанном с ошибочно просчитанными инженерными решениями и т.д. Черное море в ближайшее время станет прибрежным морем Европы и будет составляющей частью системы европейских морей. В этой связи ожидается его интенсивное использование для транспорта энергоресурсов и рекреации. Кроме того, Европа входит в зону водосбора моря и непосредственно воздействует на его экосистему.

Антропогенная нагрузка на морские акватории, стремительно возрастающая в последние десятилетия, вызывает изменения экосистемы моря. Влияние человека проявляется в количественных и

качественных нарушениях циклов обращения питательных веществ, изменяющих естественно сложившийся баланс. Результатом явилось сокращение промыслового лова рыбы в море, сокращение биоразнообразия морской фауны вплоть до потенциального опустынивания Черного моря.

Оживление интереса к промышленной эксплуатации шельфа моря и, в частности, его использования для добычи и транспортировки нефти и газа с неизбежностью приводит к возрастанию вероятности крупных катастроф с непоправимым ущербом рекреационным и биологическим ресурсам моря. Совершенно очевидно, что одновременно с интенсификацией промышленного освоения моря должна развиваться система контроля изменений морской среды, способная дать надежную информацию для принятия управленческих решений, корректировки действующих и обоснования будущих хозяйственных проектов.

Сейчас Черноморскими странами под эгидой Межправительственной Океанографической Комиссии (МОК) создан международный проект "Глобальная система наблюдений Черного моря" (Черноморский ГОНС). Организация такого проекта отражает заинтересованность черноморских стран в информационном обеспечении хозяйственной деятельности. В рамках этого проекта создается международная наблюдательная системы нового уровня.

К настоящему времени в рамках национальных программ и при поддержке международных организаций на акватории Черного моря осуществляется широкий комплекс наблюдений в режиме времени близком к реальному. Основу наблюдательной системы составляют спутниковые наблюдения морской поверхности и данные поверхностных и глубинных свободно-дрейфующих буев. Инфракрасные данные сканеров AVHRR со спутников серии NOAA принимаются непосредственно на приемную HRPT-станцию МГИ НАНУ (рис.1). Затем производится обработка предварительная обработка спутниковых измерений. Она включает калибровку, географическую привязку и геометрическую коррекцию. После этого производится выделение безоблачных участков, осуществляется атмосферная коррекция и рассчитывается температура морской поверхности.

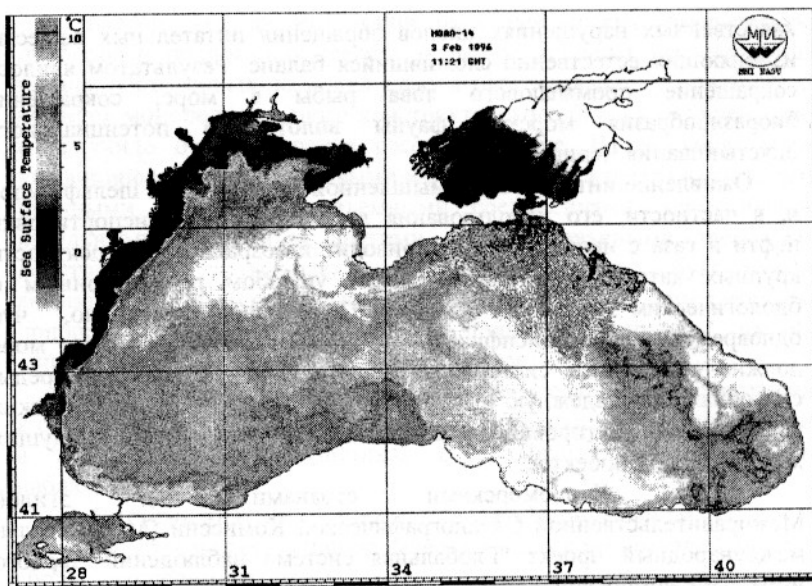


Рис.1. Пример карты температуры поверхности Черного моря.

Другим источником информации являются данные сканеров видимого диапазона «СиВиФС» и «МОДИС», осуществляющие наблюдения цвета моря. Наблюдения цвета моря позволяют определять концентрацию фитопланктона в поверхностных водах моря, характеризующую состояние морской экосистемы. Данные цветовых сканеров «СиВиФС» и «МОДИС» доступны через Интернет, однако стандартные алгоритмы НАСА имеют значительную погрешность при количественном их применении к Черному морю в силу повышенной концентрации желтого вещества в черноморских водах.

Спутниковые наблюдения скорости приводного ветра по данным скаттерометрических измерений NSCAT и QUIKSCAT, доступные через Интернет после обработки Лабораторией реактивного Движения в США, также принимаются на регулярной основе. В качестве резервного источника информации о скорости приводного ветра используются также данные оперативной модели атмосферной циркуляции NCEP.

Начиная с 1992 г. на Черном море накапливаются высокоточные альтиметрические измерения. Данные наблюдений ИСЗ *TOPEX/POSEIDON* и *ERS-1, 2* до конца 2000 г. обрабатывались и

предоставлялись МГИ НАНУ Лабораторией Гидрологии Годдардовского Центра Космических Полетов НАСА. Затем данные всех доступных альтиметров (ИСЗ *TOPEX/POSEIDON* и *ERS -1,2*, «ГФО», «Джейсон», «Энвисат») в результате достигнутой договоренности о сотрудничестве передаются МГИ службой «AVISO» (Тулуза, Франция). Альтиметрические измерения поступают в МГИ через Интернет и затем проходят дополнительную обработку для восстановления топографии поверхности моря.

Помимо дистанционных измерений наблюдательная система Черного моря включает также измерения со свободно дрейфующих буев. Начиная с 2001 г. в Черном море интенсивно реализуется программа наблюдений со свободно-дрейфующих буев. Всего с 2001 г. до начала 2004 г. в рамках совместной программы Украины, России, Франции и США при поддержке ONR и MetoFrance было запущено более 50 поверхностных дрейфующих буев (рис.2).

В сентябре 2002 г. в рамках программы ONR «NICOP» при участии Украины, Турции и США в Черном море запущены три буя-профилемера на глубинах 200 м, 750 м и 1550 м. Ежедневно эти буи опускаются до глубины 1550м и затем всплывают на поверхность, производя измерения температуры и солёности.

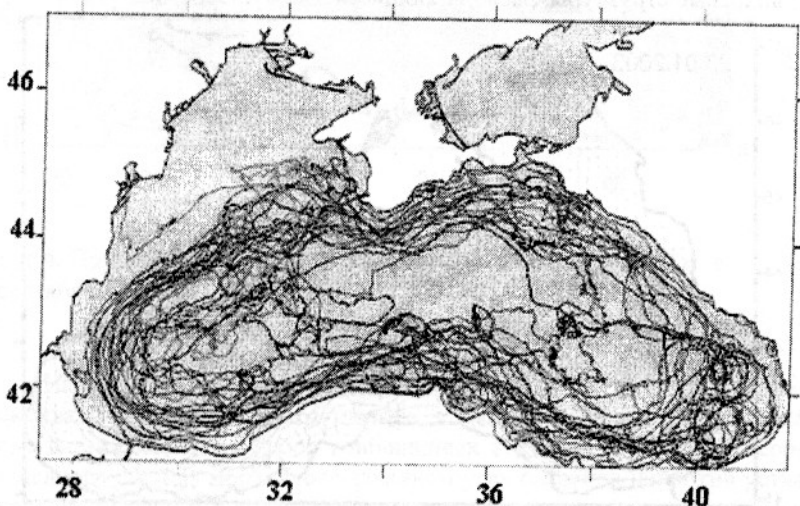


Рис.2. Траектории движения поверхностных дрейфующих буев.

Основные компоненты опытной наблюдательной системы, реализованной на Черном море, создавались в соответствии с

концепцией спутникового мониторинга и дают возможность эффективного использования моделей динамики для диагноза и прогноза циркуляции вод в бассейне. В частности, наблюдения ТПМ по данным ИК сканеров и приводного ветра по данным скаттерометрии или из расчетов по атмосферным моделям дают возможность задавать динамические и термодинамические условия на поверхности моря. Ассимиляция альтиметрии позволяет с высокой точностью воспроизводить изменчивость морских течений в широком диапазоне масштабов. Начиная с 2003 г. альтиметрические наблюдения поступают со спутников *TOPEX/POSEIDON*, *ERS*, ГФО, Джейсон, Энвисат с задержкой в два-три дня, что позволяет восстанавливать поля скоростей течений, температуры и солёности в режиме времени близком к реальному.

Модель общей циркуляции вод Черного моря, использующаяся при проведении квази-оперативного мониторинга, реализована на сетке  $5 \times 5$  км, что позволяет хорошо описывать мезомасштабные особенности морских течений. На рис.3 приведен пример карты поверхностных течений, восстановленных на основе ассимиляции наблюдений в модели динамики Черного моря. На рис.3 видно положение Основного Черноморского течения, его меандры и вихревые структуры, располагающиеся вдоль побережья.

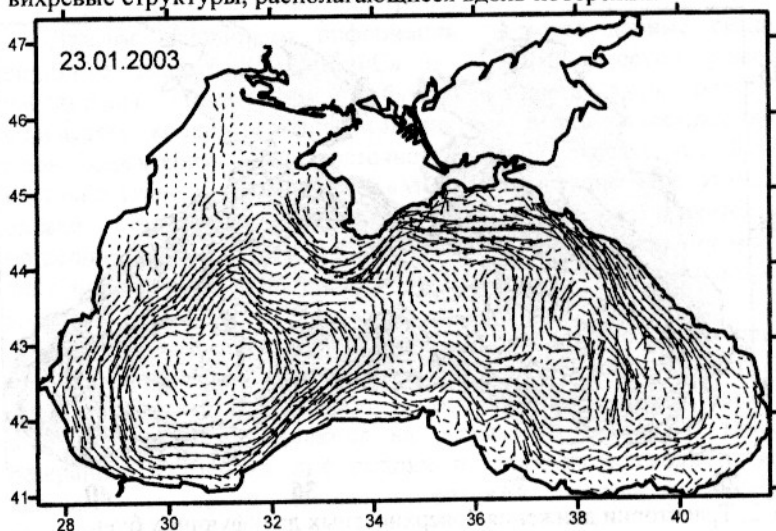


Рис.3. Пример карты поверхностных море.

Однако ассимиляция измерений в моделях позволяет восстанавливать не только поля на морской поверхности, но и в глубинах моря. На рис.4 приведены карта распределения температуры на глубине 50м, показывающая сложную картину пространственной изменчивости, вызванную сдвиговыми течениями. Рис.4 демонстрирует заток в Черное море теплых вод нижнебосфорского течения и последующее их перенос течениями. Любопытно отметить, что вынос теплых вод в районе Босфора по данным настоящего расчета не является постоянным явлением, а существенно зависит от характера циркуляции в прибосфорском районе.

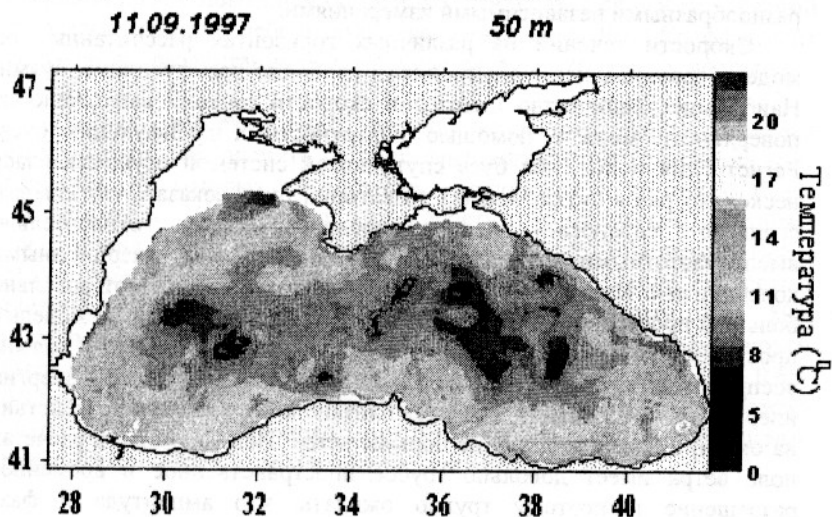


Рис.4. Пример распределения температуры на горизонте 50 м в сентябре 1997 г.

На рис.4 виден заток холодных вод, показанных более темным цветом, с северо-западного шельфа в открытое море. На этом же рисунке виден также набор грибовидных структур – вблизи северо-западного шельфа моря, в юго-западном углу бассейна напротив устья пролива Босфор и в восточней и западной выпуклости анатолийского побережья. Обычно грибовидные структуры наблюдаются на поверхности моря на спутниковых изображениях видимого или ИК диапазона, однако, очевидно, что только отсутствие наблюдений температуры воды с высоким пространственным разрешением и за



короткий промежуток времени в глубинах моря не позволяет обнаружить такие структуры в натурных условиях.

Следует отметить, что в настоящее время карты такого типа могут быть представлены на любой момент времени и на любой глубине, причем в режиме времени близком к реальному.

Возникает, однако, вопрос о точности диагноза гидрологического состояния Черного моря созданной системой. С этой целью был выполнен специальный анализ результатов расчетов. Различные поля, восстановленные по итогам ассимиляции спутниковых и контактных измерений в модели циркуляции Черного моря, сопоставлялись с разнообразными независимыми измерениями.

Скорости течений на различных горизонтах рассчитанные по модели сравнивались с измерениями свободно-дрейфующими буями. Наибольшее количество измерений скорости течений выполнено на поверхности моря с помощью поверхностных дрейфующих буйев. Регистрация положения буйев спутниковой системой осуществлялась несколько раз в сутки. Анализ траекторий буйев показал, что помимо среднего переноса они переносились также относительно высокочастотными течениями, обусловленными инерционными колебаниями. Известно, что инерционные колебания имеют довольно большой пространственный масштаб и в принципе численная модель с пространственным разрешением пять километров должна воспроизводить эти колебания. Однако главным источником энергии инерционных колебаний являются близкие к импульсным воздействия на океан, в частности, резкие порывы ветра. Используемое в расчетах поле ветра имеет довольно грубое пространственное и временное разрешение и поэтому трудно ожидать, что амплитуда и фаза инерционных колебаний может быть восстановлена моделью с достаточной точностью. Более того, ассимиляция данных наблюдений, основанная на небольшом рассогласовании рассчитанных и наблюдаемых полей, сама по себе может быть источником инерционных колебаний. Поэтому, даже если используемое поле ветра и дает правильную картину инерционных колебаний, то ассимиляция данных должна приводить к искажению реальных амплитуд и фаз. Дополнительная техническая сложность анализа инерционных движений связана с необходимостью использования данных расчетов с высокой дискретностью во времени, что связано с сохранением больших объемов информации. В итоге, с учетом всех перечисленных выше обстоятельств, на данном этапе анализировалась среднесуточная скорость поверхностных течений. Точность воспроизведения среднесуточной скорости поверхностных течений оценивались на

основе сопоставления с данными поверхностных дрейфующих буюв. С этой целью находятся среднесуточные значения скорости течений в одной и той же точке и в один и тот же момент времени по результатам расчетов и по данным о дрейфе поверхностных буюв. Среднесуточная скорость поверхностных течений пропорциональна перемещению буюа за сутки и относится к среднему положению буюа в пространстве. Рассчитанная по модели в узлах регулярной сетки скорость течений интерполируется в точку среднего положения буюа в пространстве в соответствующий момент времени. Разброс вычисленных таким образом скоростей представлен на рис 5. Относительная погрешность данных диагноза скорости течений оказалась довольно небольшой, равной примерно 30%. Коэффициент корреляции рассчитанных и наблюдаемых полей также достаточно высок - около 0,7.

Помимо поверхностных течений, имеющаяся наблюдательная система позволяет оценить точность воспроизведения течений на трех глубинах, на которых проводились наблюдения с помощью буюв-профиломеров. Удивительно, что скорость глубинных течений также воспроизводится примерно с той же точностью, что и поверхностных. Модельные результаты сравнивались со средненедельной скоростью течений, измеряемой буюами – профиломерами на глубинах 200м, 750м и 1550м. На всех горизонтах относительная точность модельных полей была в диапазоне 30-35%, а коэффициент корреляции порядка 0,65-0,72. Таким образом, функционирующая в настоящее время система диагноза состояния Черного моря дает вполне удовлетворительные результаты и может использоваться на практике.

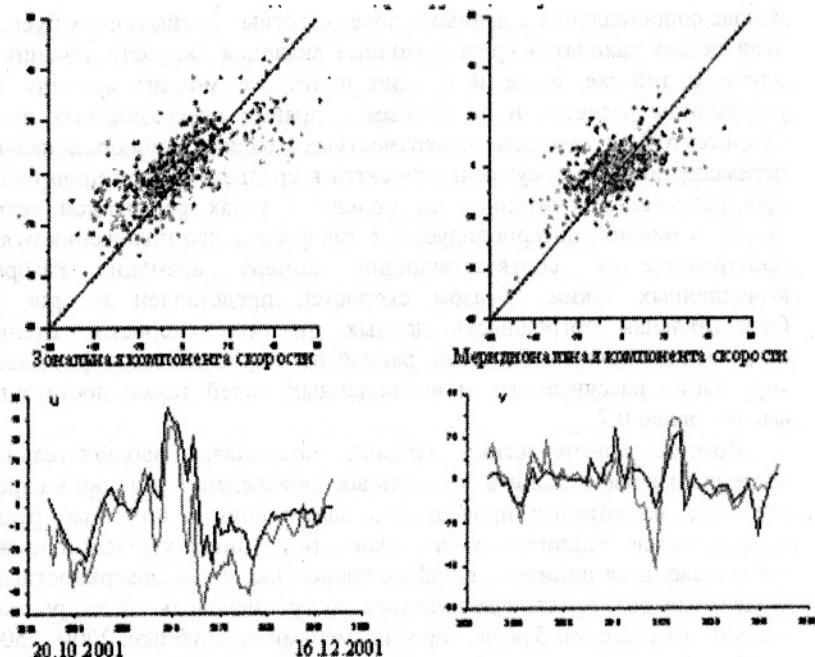


Рис.5. Сопоставление рассчитанных поверхностных течений с данными поверхностных дрейфующих буйев.

## 5. Заключение

Современная методология экспериментальных исследований в океане ориентируется на внедрение в практику океанологических исследований многокомпонентной системы сбора экспериментальных данных, включающей в себя: дистанционное зондирование океана из космоса, использование свободно-дрейфующих буйев, автономных буйковых станций, донных станций и обсерваторий, обитаемых и необитаемых подводных аппаратов, научно-исследовательских судов и организацию наблюдений на попутных судах. Использование многокомпонентной системы сбора экспериментальных данных позволяют создавать системы диагноза и прогноза морской среды, аналогичные метеорологическим системам прогноза погоды с использованием современных компьютеров, численных моделей океанических процессов и методов ассимиляции наблюдений. Такие системы дают возможность оптимальным образом интегрировать разнородные измерения и представлять в удобной форме непрерывную эволюцию океанических полей с достаточно высокой точностью.

Дальнейшие исследования явлений, механизмов и процессов Мирового океана, на наш взгляд, целесообразно проводить на фоне материалов мониторинга состояния океанического бассейна, в котором проводятся экспериментальные исследования. При этом материалы состояния контролируемой среды используются в качестве граничных условий проводимого эксперимента.

### Литература

1. Монин А.С., Каменкович В.М., Корп В.Г. Изменчивость Мирового Океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 262 с.
2. Dickey T.D. Recent advances and future directions in multi-disciplinary in situ oceanographic measurement systems, in Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean, B.J. Rothschild (ed.). – 1988. – P. 555-598.
3. Robinson, A.R., Bellingham J., Chrysostomidis C., Dickey T., Levine E., Petrikalakis N., Porter D.L., Rothschild B.J., Schmidt H., Sherman K., Holloday D.V., and Atwood D.K. Real-time forecasting of the multidisciplinary coastal ocean with the Littoral Ocean Observing and Prediction System (LOOPS). Proceedings of the Third Conference on Coastal Atmospheric and Oceanic Prediction Processes, American Meteorological Society, Boston, MA. – 1999.
4. Нелено Б.А. Коптаев Г.К. Спутниковый мониторинг климата океана // Метеорология и гидрология. – 1984. – №8. – С. 34-41.
5. Davis R.E. Observing the general circulation with floats // Deep-Sea Research. – 1991. – № 38 (Suppl. 1). – P. 531-571.
6. Ereemeev V.N., Horton E., Motyzhev S.V., Poulain P.-M. Poyarkov S.G., Soloviev D.M., Stanichny S.V., Zatsepin A.G. Studies of Black Sea macro- and mesoscale circulation with application of SVP and SVP-B drifters // Present results and future plans. Development in Buoy Technology, Communications and Data Applications, UNESCO DBCP CD ROM Technical Document Series. – 2002. – № 21. – Article № 8. – P. 1-9.
7. Смирнов Г.В., Нерсесов Б.А. Тенденции развития техники и технологии исследований Мирового океана // Материалы конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». Москва: Изд-во ИО РАН. – 2001. – С. 130-142.
8. Автономные необитаемые подводные аппараты // Под общ. ред. академика М.Д. Агеева. – Владивосток: Дальнаука. – 2000. – 272 с.
9. Бельский В.Н., Борнусов Д.В., Владимиров Ю.В., Нерсесов Б.А., Смирнов Г.В., Фендриков А.Н. Анализ современного состояния и тенденций развития обитаемых подводных аппаратов для

- комплексных окенологических исследований // Материалы конференции «Современные методы и средства океанологических исследований. Москва: Изд-во ИО РАН. – 2003. – С. 205-228.
10. *Davis R.E., Sherman J.T. and Dufour J.* Profiling ALACEs and other advances in autonomous subsurface floats. // *J. Atmos. Ocean. Tech.*, Boston, MA. 2001. – 18. – P. 982-993.
11. *Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л. и др.* Проблемы и методы экологического мониторинга морей и прибрежных зон Западной Арктики. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. – 2001. – 280 с.
12. *Нелепо Б.А., Смирнов Г.В., Шадрин А.Б.* Интегрированные системы для гидрофизических исследований. Л.: Гидрометеиздат. – 1989. 237с.
13. *Дорофеев В.Л., Коротаев Г.К., Мартынов М.В., Ратнер Ю.Б.* Система мониторинга гидрофизических полей Черного моря в квазиоперативном режиме // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАНУ. – 2004. – Вып. 11. – С. 9-23.